

Р. Бессон

ВСЕ О СТЕРЕОФОНИИ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

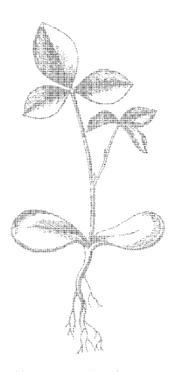
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 478

Р. БЕССОН

ВСЕ О СТЕРЕОФОНИИ

Перевод с французского
Ю. Л. СМИРНОВА







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1963 ЛЕНИНГРАД

УДК 681.84.087.7

Подробно разбираются все системы стереофонической записи звука на грампластинку и магнитную ленту и воспроизведение этой записи Рассматриваются также системы стереофонических радиовещательных передач и приема.

Книга рассчитана на широкий круг радиолюбителей-конструкторов, интересующихся натуральным звучанием.

R. Besson

Toute la stéréophonie

Société des éditions radio, Paris, 1961

6Ф8 *Бессон Р.*

Все о стереофонии. М.—Л , Госэнергоиздат, 1963
128 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека, вып. 478)

Редактор *В. С.Ваймбойм* Техн. редактор *Н. А Бульдяев*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 5/IV 1963 г. Подписано к печати 11 VII 1963 г.
Бумага 84×108[1]/₃₂ 6,56 печ. л. Уч.-изд. л 8,4
Тираж 43 000 экз. Цена 42 коп. Зак № 1140

Типография № 1 Государственного издательства литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам.
г. Владимир

ОТ РЕДАКЦИИ

До сих пор в нашей литературе не было популярной книги по вопросам стереофонии.

Между тем интерес к этим вопросам очень велик среди читателей, особенно в связи с проведенными опытными стереофоническими радиопередачами и выпуском первых стереофонических проигрывателей и магнитофонов.

Вот почему редакция массовой радиобиблиотеки решила перевести на русский язык книгу Р. Бессона «Все о стереофонии», вышедшую в 1961 г. во Франции.

Написанная популярно, она в то же время дает полное представление не только о теории стереофонии, но и практические сведения, необходимые радиолюбителям и радиоспециалистам, интересующимся натуральным звучанием.

Небольшие сокращения, произведенные при редактировании, были вызваны желанием не загромождать книгу перечислением марок и деталей иностранных фирм, с которыми не будет встречаться наш читатель.

Остается выразить надежду, что знакомство с этой книгой будет полезно широким кругам наших читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Если симфонический оркестр в составе 120 исполнителей «сдавить» гидравлическим прессом до размеров диффузора громкоговорителя, то полученный в результате этого спрессованный кусочек и будет той самой монофонией, которая с самого начала существования звукозаписи и радиовещания никогда не позволяла воспроизводить музыку в ее первоначальной, пространственной форме.

Стереофония же полностью восстанавливает записываемое или передаваемое звучание. Она все расставляет по своим местам, и в нашем слуховом восприятии каждый источник звука оказывается там, где он находился (или находится) в действительности.

Так как же до появления стереофонии можно было говорить о высококачественном воспроизведении звука?

Принцип стереофонии был изложен еще в 1881 г. Клементом Адером. На Всемирной выставке, которая в том году проводилась в Париже, посетители могли слушать стереофоническую передачу из оперного театра; передача происходила по двум телефонным линиям, соединенным с двумя группами микрофонов, одна из кото-

рых размещалась справа, а другая слева от сцены. При прослушивании этой передачи на два наушника воспроизводилось пространственное размещение певцов и инструментов оркестра. Это еще раз оправдывает известное выражение «ничто ни ново под луной».

Однако потребовалось еще около 80 лет, чтобы идея стереофонического воспроизведения звука достигла такой степени зрелости, что ее практическое осуществление стало насущной необходимостью. Для этого был необходим прогресс в электроакустике и радиоэлектронике, который дал конструкторам необходимые технические средства.

В наши дни, не вытесняя полностью монофонии, стереофония представляет собою особую технику, более совершенную, но и более сложную по своим методам и применяемым устройствам.

Цель настоящей работы состоит в изложении принципов стереофонии, анализе различной аппаратуры и применяемых схем и ознакомлении читателя с практикой стереофонической записи и воспроизведения звука.

Принципы новой техники впервые были изложены в моей статье, опубликованной в ноябрьском номере журнала «Тут ля Радио» за 1958 г. Вместо того чтобы сделать более или менее удачный пересказ, Р. Бессон совершенно обоснованно воспроизводит, ничего не изменяя (разве это не высококачественное воспроизведение?), основные положения этой статьи, которые и легли в основу первой главы настоящей книги. В следующих главах автор (с точки зрения стереофонии) рассматривает грампластинки, звукосниматели, методы записи звука, усилители НЧ, громкоговорители с акустическими системами для них и различные системы радиопередач.

Изложив таким образом теоретические основы, автор дает описание серии превосходных стереофонических усилителей, разработанных и изготовленных лучшими специалистами в этой области.

И наконец, думая о тех, кто хотел бы модернизировать свою монофоническую аппаратуру, автор описывает способы переделки ее в стереофоническую.

Е. Айсберг

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПРИНЦИПЫ СТЕРЕОФОНИИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

«Стереофония — это звуковой рельеф» — такое утверждение приходится слышать довольно часто. Оно ошибочно и наглядно показывает опасность, которую иногда представляет аналогия... Действительно, имеется тенденция приравнять стереофонию к тому, что представляет собой стереоскопия в области зрения. Стереоскопия позволяет создать иллюзию объемного изображения; две фотографии, снятые с двух точек, разнесенных на расстояние, равное расстоянию между двумя глазами, рассматриваются раздельно через линзы или призму, благодаря чему изображение воспринимается как имеющее третье измерение — глубину.

Стереофония же предназначена для восстановления при восприятии слушателем истинного распределения источников звука в пространстве. Вопрос заключается не в размещении их по глубине, так как ощущение отдаленности или близости уже существует в современных системах воспроизведения звука. Относительная громкость воспринимаемых звуков, а также особенности реверберации дают это ощущение удаленности или близости, которое имеется в системах, действительно заслуживающих названия «систем высококачественного воспроизведения звука». В этих системах недостает только ощущения распределения источников звука (справа — слева или вверху — внизу): воспроизводится ли речь, пение соло или игра оркестра, — все звуки исходят из одной и той же точки.

Этот недостаток пытались устранить путем применения нескольких громкоговорителей. Но излучение одних и тех же звуковых колебаний из нескольких точек пространства ничего принципиально не изменяет, так как такой метод не позволяет различать источники звука по занимаемым ими местам в пространстве.

Стереофония добавляет новую размерность воспроизведения звука, вследствие чего слушатель воспринимает истинное распределение всех источников звука в горизонтальной плоскости: справа, посредине и слева. Таким образом, восприятие комплекса звуков, создаваемых оркестром или хором, приобретает своего рода прозрачность. Слушатели легко различают инструменты, которые среди массы звуков воспринимаются как ансамбль отдельных голосов.

Кроме того, когда источники звука перемещаются, как это бывает при передаче театральной пьесы или оперы, слушатель может свободно следить за всеми движениями актеров или певцов

Благодаря стереофонии музыка, воспроизводимая на расстоянии (радиовещание) или со смещением во времени (звукозапись), наконец, дополняется последним элементом, который еще отличал ее от непосредственного прослушивания: симфонический оркестр восстанавливается полностью в своем объеме, а не сводится, как раньше, к площади диффузора громкоговорителя; театральная сцена вновь обретает свои истинные размеры, и «звуковая правда» звучит с изумительным реализмом.

СТЕРЕОФОНИЯ НЕ НОВИНКА

Уже давно воспроизведение стереофонического звука было предметом исследований, часто приводивших к исключительно успешным результатам.

Вполне естественно, что кинематография, овладев словом, первой занялась этим вопросом. Учитывая большие размеры экрана, представлялось необходимым заставить звук следовать за перемещением актеров.

Первооткрывателем в этой области был Абель Гансе, который в 1930 г. осуществил пространственное распределение звука, для чего установил громкоговорители не только за экраном, но и в самом зале. Лет через десять Уолту Диснею удалось использовать все возможности стереофонии, когда он записал звук «Фантазии» на нескольких дорожках, соответствующих различным его направлениям. В системе широкоэкранного кино «Синемаскоп» вытянутое по ширине изображение настоятельно потребовало перехода к стереофоническому звуку.

Наиболее эффективно стереофония была использована в системе панорамного кино «Синерама», которую Майк Тодд сделал доступной широким кругам кинозрителей в 1950 г. Теперь достаточно хорошо известен чрезвычайно сильный эффект, который дают громкоговорители, размещенные как за экраном, так и в различных уголках зала.

Идея записи стереофонического звука также не нова. Первые работы в этой области проводились лет тридцать назад. Английский физик А. Д. Бламлейн в 1931 г. получил патент (№ 394325), который можно считать основой современной системы стереофонической записи на грампластинках. В своем изобретении Бламлейн предусмотрел две (конкурирующие друг с другом) системы с одной канавкой с составляющими под углом 90 или 45°.

В 1933 г. «Коламбия Грэмофон Компани» изготовила стереофонические грампластинки по методу Бламлейна. Это были шеллачные пластинки на 78 *об/мин* — единственной в то время стандартной скорости.

Значительно позднее в Соединенных Штатах Америки некий Эмери Кук выпустил стереофонические грампластинки, на которых каждая сторона была разделена на две части, одна отводилась для записи «правого» канала, а другая - «левого». Эта система имела большое количество недостатков и применения не нашла.

Одновременно появились первые магнитные ленты с двойной стереофонической дорожкой. В отличие от грампластинок они сразу же стали пользоваться успехом.

В радиовещании также стали заниматься проблемой стереофонии. Так, Французское управление радиовещания, использовав два передатчика, передало стереофоническую запись «Слезы дьявола» Теофиля Готье, которая была прекрасно записана в стереофоническом варианте.

Однако для достижения полного расцвета стереофонии потребовалось, чтобы различные фирмы-изготовители договорились между собой о международном стандарте. Теперь это уже реальная действительность и можно говорить о характеристиках системы, принятой во всем мире. Затем потребовалось выполнить еще одно предварительное условие — полной совместимости.

Для осуществления полной совместимости необходимо, чтобы стереофонический радиограммофон мог воспроизводить запись с обычных грампластинок, а обычный радиограммофон — со стереофонических грампластинок. Из-за различий в давлении, оказываемом иглой на грампластинку, и в диаметре острия иглы второе условие в настоящее время пока еще не выполнено. Остается, чтобы была осуществлена простая, но более интересная совместимость, т. е. чтобы стереофонический радиограммофон мог воспроизводить запись звука с любых пластинок, как стереофонических, так и обычных.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТЕРЕОФОНИИ

Чтобы усвоить стереофоническую технику, необходимо понять, каким образом ухо определяет местоположение источника звука. Как и в радиолокаторе, источник колебаний определяется по его направлению и расстоянию, что дает три координаты пространства.

Восприятие одним ухом. Известно, что расстояние, хотя и не очень точно, можно оценить и одним ухом. При этом мы инстинктивно руководствуемся громкостью звука (потому что в большинстве случаев мы догадываемся о звуковой мощности источника). Кроме того, учитывается относительная величина реверберации в закрытых помещениях и, наконец, спектральный состав звука (преобладание высоких частот характеризует близко расположенные источники). Одним ухом благодаря эффекту направленности (направляющему действию ушной раковины) можно также в известной мере определить направление на источник звука. Эта способность человека определять направление с помощью только одного уха проявляется особенно хорошо на частотах выше 2 000 *гц*.

Поворачивая голову, определяют направление, при котором звук достигает наибольшей громкости, и таким образом осуществляют настоящую «акустическую пеленгацию».

Восприятие двумя ушами. Рассмотрим теперь условия бинаурального слушания (слушания двумя ушами). В этом случае исходящие из одного источника звуковые волны при достижении обоих ушей различаются по времени прихода и по интенсивности. Эти два различия позволяют с достаточно хорошей точностью определить направление на источник звука.

Рассмотрим сначала проблему различия по времени. Если рассматривать голову как сферу с радиусом R (рис. 1), то легко вычислить величину l, представляющую собой разницу пути к ушам звука, исходящего из источника, расположенного под углом φ по отношению к плоскости симметрии головы. Эта длина l состоит из

двух частей. из дуги длиной $R\varphi$ и прямого отрезка $R \sin \varphi$. Следовательно, общая длина l равна:

$$l = R(\varphi + \sin\varphi) .$$

Обозначив скорость звука буквой c, получим следующую величину разницы во времени:

$$t = \frac{R}{c}(\varphi + \sin\varphi) .$$

Если принять средний радиус человеческой головы равным 8,15 *см*, то для источника звука, находящегося под углом 90° к оси симметрии головы, получим l=21 *см*, а разницу во времени t=0,63 *м/сек*. Для других источников, находящихся ближе к оси симметрии головы, разница во времени будет меньше. Одной только разницы во времени совершенно достаточно для создания четкого представления о направлении По этому вопросу был проведен оригинальный эксперимент: в наушники подавали звуковые импульсы, слегка смещенные во времени один относительно другого; когда импульсы попадали сначала в правое ухо, слушателю казалось, что источник звука находится справа, и наоборот Снятая таким способом кривая направлений (штриховая линия на рис. 2) мало отличалась от кривой направлений, рассчитанной по приведенной формуле (сплошная линия на рис. 2). Следует отметить, что в тех случаях, когда интервал между импульсами, подаваемыми на оба уха, превышал 1,2 *мсек*, ощущения направления больше не возникало — импульсы воспринимались раздельно.

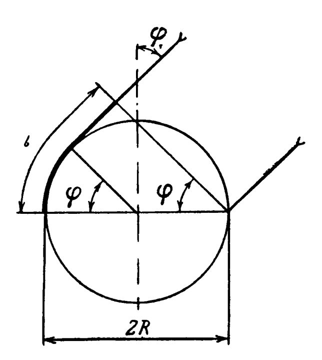


Рис 1. Биноуральное восприятие звука.

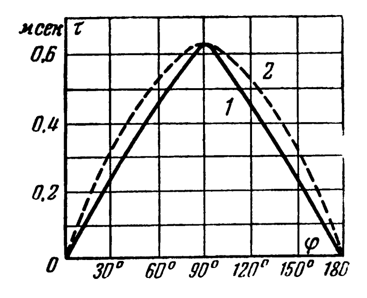


Рис. 2. Кривые, обозначающие разницу времени прохождения звуковых волн к обоим ушам

1 — соответствует формуле, приведенной в тексте; *2* — соответствует эксперименту, когда слушателю подавали в наушники смещенные во времени импульсы

Определение направления по сдвигу фазы синусоидальных сигналов между ушами дает наилучшие результаты на частотах от 300 до 1200 *гц*. Такое определение дает максимальную точность в плоскости симметрии головы — возможно обнаружение разницы направления звука примерно в 3°.

Направление звука лучше определяется в горизонтальной плоскости; ощущение «верха» и «низа» выражено значительно слабее

Различие в интенсивности звуков, поступающих в правое и левое уши, вызывается формой головы и ушных раковин. Голова представляет собой как бы экран, и ее воздействие добавляется к эффекту направленности ушных раковин. Оба эти воздействия сказываются лишь на волнах, длина которых соизмерима с размерами головы. Поэтому эти воздействия четко выражены преимущественно на высоких частотах, и их совершенно невозможно обнаружить на частотах ниже 800 *гц*. По этой причине обращенное к источнику звука ухо больше воспринимает высокие тона. При несинусоидальных звуках их тона воспринимаются обоими ушами неодинаково: ухо, обращенное к источнику звука, лучше воспринимает высшие гармоники.

Следовательно, при биноуральном слушании на частотах ниже 800 *гц* направление на источник звука определяется благодаря сдвигу фаз между достигающими ушей волнами. На частотах выше 800 *гц* направление определяется преимущественно по разнице в интенсивности.

ВОСПРИЯТИЕ ДВУХ ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА

Стереофоническое воспроизведение звука требует применения двух раздельных линий звукопередачи. Звук улавливается двумя микрофонами (рис. 3), установленными в ушах «искусственной го-

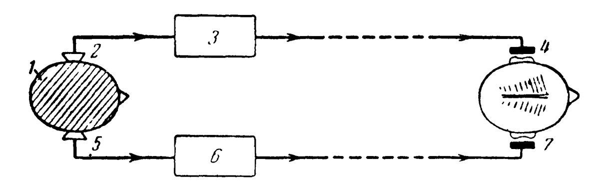


Рис. 3. Схема биноуральной передачи

1 — искусственная голова; *2* — микрофон *I*; *3* — усилитель *I*; *4* — телефон *I*; *5* — микрофон *II*; *6* — усилитель *II*; *7* — телефон *II*

ловы». Таким образом, каждый микрофон воспринимает звуки так же, как их воспринимал бы сам слушатель, т. е. со всеми различиями по интенсивности, фазе и тону. Ток каждого микрофона после усиления подается на наушник, находящийся на соответствующем ухе слушателя. В этих условиях создается полное ощущение пространственного распределения источников звука. Если слушатель поворачивает голову, то одновременно смещается весь комплекс источников звука, при этом всегда сохраняется их относительное расположение.

Если заменить наушники двумя громкоговорителями, установленными на некотором расстоянии, то слушатель, находящийся на оси симметрии двух громкоговорителей, также будет ощущать пространственное распределение звука. Однако, если он повернет голову, кажущиеся источники звука останутся на своих местах. В этом случае разница по интенсивности и по фазе также создает

ощущение направления. Проведенные в этой области опыты позволили уточнить различные факторы, участвующие в этом явлении. Так, воспроизводя с помощью двух громкоговорителей запись речи, удалось изменять кажущееся направление источника звука. Для этого оказалось достаточным изменить относительную громкость звучания громкоговорителей, не вводя никаких различий по времени. Как показывает кривая на рис. 4, когда интенсивность была

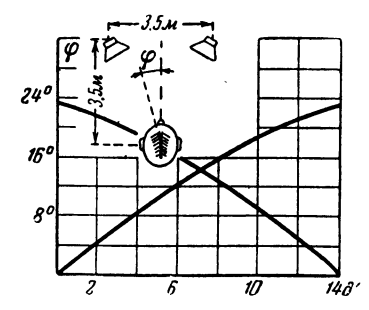


Рис. 4. Кривая зависимости кажущегося расположения источника звука от разности в интенсивности звучания громкоговорителей.

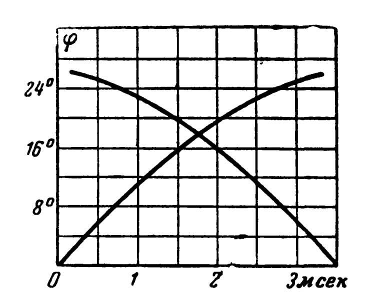


Рис. 5. Кривая зависимости кажущегося расположения звука от временной задержки между звучанием двух громкоговорителей.

одинаковой, слушателю казалось, что источник звука находится посредине между двумя громкоговорителями. По мере увеличения громкости звучания одного из громкоговорителей слушателю казалось, что источник перемещается в сторону более интенсивно звучащего громкоговорителя. Затем условия эксперимента изменили. Интенсивность звучания громкоговорителей удерживалась строго одинаковой, но звучание одного громкоговорителя несколько задерживалось (во времени) по отношению к другому. В этом случае слушатель воспринимал источник звука тем ближе к одному из громкоговорителей, чем более задерживалось звучание другого (рис. 5).

ОПТИМАЛЬНОЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ СЛУШАТЕЛЯ

Следует еще рассмотреть вопрос об оптимальном местонахождении слушателя, желающего полностью использовать эффект стереофонии. Включим оба громкоговорителя так, чтобы интенсивность их звучания была одинакова и строго в фазе. Пока мы находимся на оси акустической системы, у нас складывается впечатление, что источник звука находится ровно посредине между громкоговорителями. Если сместиться с этой оси по прямой линии, параллельной линии, соединяющей оба громкоговорителя, то в определенный момент источник звука как бы резко переместится к ближайшему громкоговорителю: если сместиться влево, то истинным источником

звука кажется левый громкоговоритель, а если вправо — то правый громкоговоритель.

Это явление представляет собой хорошо известный акустикам эффект маскировки. Расстояние между осью акустической системы и точкой, где это явление происходит, тем больше, чем дальше от громкоговорителей находится слушатель. Если обозначить все точки, где наблюдается это явление, то обнаружится, что они находятся на двух ветвях гиперболы, в центрах которой находятся

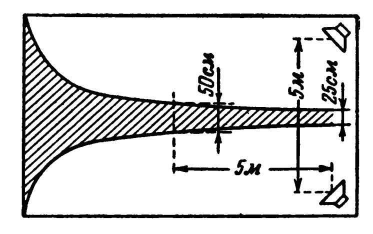


Рис. 6. Зона стереофонического восприятия звучания (заштрихована).

Рис. 7. Способ расширения зоны стереофонического звучания.

громкоговорители (рис. 6). На расстоянии 5 *м* от линии, соединяющей громкоговорители, разнесенные также на 5 *м*, ширина полезной зоны, где имеется стереофонический эффект, составляет всего лишь 50 *см*.

Эту особенность необходимо учитывать, если желательно наиболее эффективно использовать стереофонию. В жилой комнате всегда можно разместить небольшое количество слушателей в полезной зоне, т. е. как можно ближе к оси акустической системы. В большом зале, где необходимо разместить большое количество слушателей, полезную зону стереофонического звучания можно значительно расширить, если разместить громкоговорители, как показано на рис. 7. Следует добавить, что часто полезная зона также расширяется вследствие эффекта реверберации от стен помещения, в котором происходит прослушивание.

ЗАПИСЬ, ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ И РАДИОПЕРЕДАЧА СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ

Для записи и воспроизведения стереофонической программы можно использовать долгоиграющую грампластинку и магнитную ленту.

Запись. Усиленные от правого и левого микрофонов электрические колебания звуковой частоты подаются на специальный рекордер, записывающий на двух сторонах одной канавки грампластинки оба канала (правый и левый) (рис. 8).

Принцип записи на магнитную ленту тот же самый, что и в предыдущем случае. Разница лишь в том, что усиленные электрические звуковые колебания подаются на две записывающие голов-

ки, которые и записывают на стандартную магнитную ленту две независимые дорожки от обоих каналов (рис. 9).

Радиопередача. Для ее осуществления могут применяться два метода (рис. 10):

а) для передачи обоих каналов используются два АМ- или два ЧМ-передатчика, при этом каждый канал передается по независимой линии от микрофона до антенны;

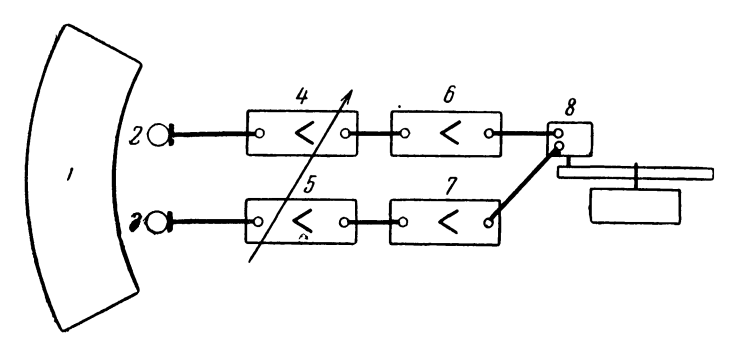


Рис. 8. Блок-схема стереофонической записи на грампластинку

1 — оркестр; *2* — микрофон правого канала; *3* — микрофон левого канала; *4, 5* — предварительные усилители с общим управлением; *6, 7* — усилители мощности; *8* — стереофонический рекордер.

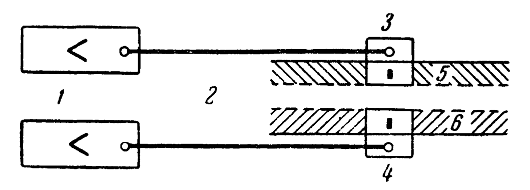


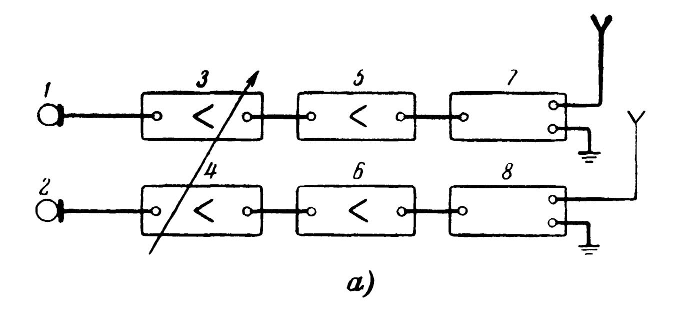
Рис. 9. Блок-схема стереофонической записи на магнитную ленту.

1 — усилители мощности; *2* — магнитная лента, *3, 4* — записывающие головки; *5, 6* — дорожки.

б) используется один ЧМ-передатчик, при этом оба канала передаются отдельно по системе мультиплекс, т. е. один канал передается обычным способом, а второй накладывается на фиксированную ультразвуковому (поднесущую) частоту.

Воспроизведение. Для воспроизведения стереофонической программы применяется следующая аппаратура.

Запись с грампластинки воспроизводят с помощью специальной звукоснимающей головки, за которой следуют два предварительных усилителя, два усилителя мощности и громкоговорители (рис. 11). Запись с магнитной ленты воспроизводят с помощью магнитофона с двумя головками, по одной на каждую дорожку.



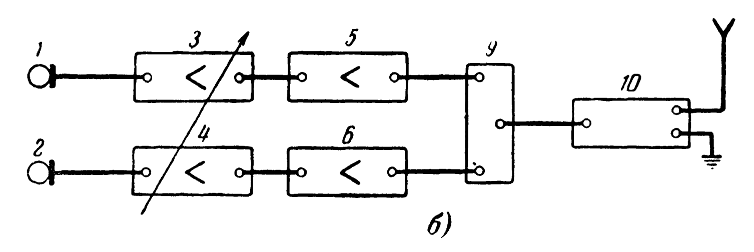


Рис. 10. Блок-схема передачи стереофонической программы

а — посредством двух передатчиков; *б* — посредством одного передатчика (*1*, *2* — микрофоны правого и левого каналов, *3*, *4* — предварительные усилители с общим управлением, *5*, *6* — усилители мощности; *7*, *8* — АМ- или ЧМ-передатчики, *9* — мультиплексный преобразователь; *10* — ЧМ-передатчик)

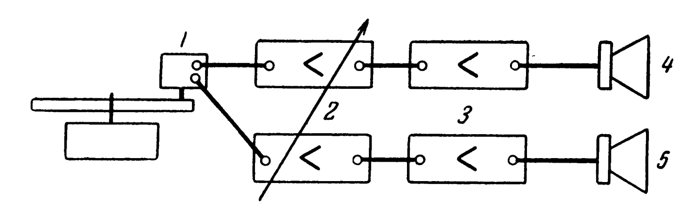


Рис. 11. Блок-схема воспроизведения стереофонической записи с грампластинки.

1 — звукосниматель; *2* — предварительные усилители с общим управлением; *3* — усилители мощности; *4*, *5* — громкоговорители правого и левого каналов

Применяющееся для усиления устройство аналогично описанному для воспроизведения записи с грампластинки (рис. 12).

Радиоприем. Метод радиоприема стереофонической программы зависит от характера передачи:

а) если каждый канал передается независимым передатчиком, то для приема программы необходимы два приемника, каждый из

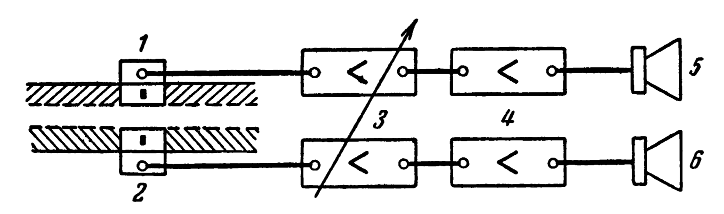


Рис. 12. Блок-схема воспроизведения стереофонической записи с магнитной ленты.

1, *2* — воспроизводящие головки правого и левого каналов; *3* — предварительные усилители с общим управлением; *4* — усилители мощности; *5*, *6* — громкоговорители правого и левого каналов.

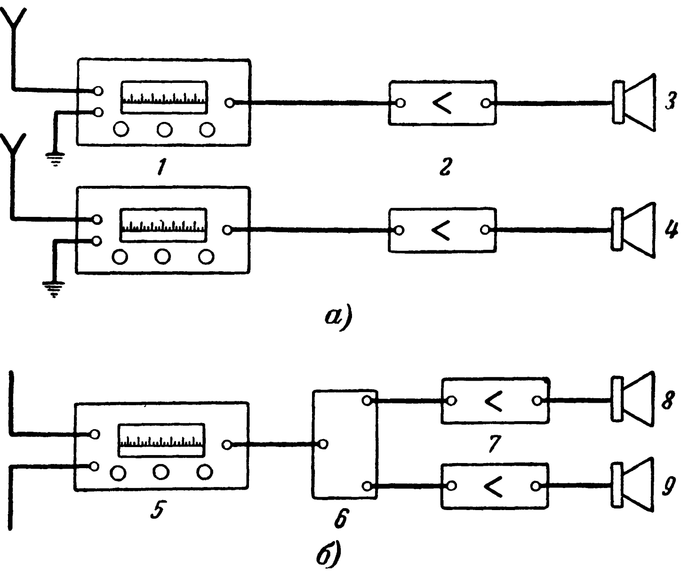


Рис. 13. Блок-схема приема радиовещательной стереофонической программы.

а — от двух передатчиков; *б* — от одного передатчика (*1* — АМ- или ЧМ-приемники; *2* — усилители мощности; *3*, *4* — громкоговорители правого и левого каналов; *5* — ЧМ-приемник; *6* — декодирующее устройство для выделения поднесущей и сигналов обоих каналов; *7* — усилители мощности; *8*, *9* — громкоговорители правого и левого каналов).

которых настроен на соответствующую частоту, два усилителя мощности и громкоговорители;

б) если оба канала передаются одним ЧМ-передатчиком с помощью системы мультиплекс, то достаточно одного приемника. Но его следует дополнить декодирующим устройством (для выделения поднесущей), разделяющим оба канала и направляющим каждый из них в соответствующий канал усиления (рис. 13)*.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СТЕРЕОФОНИЧЕСКАЯ ГРАМПЛАСТИНКА

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В предыдущей главе упоминалось, что внешне стереофоническая пластинка выглядит так же, как и монофоническая долгоиграющая грампластинка.

Однако канавка стереофонической пластинки содержит запись обоих каналов, хотя рекордер имеет только один резец, а звукосниматель — одну иглу.

Принятая для грамзаписи система называется 45/45, потому что обе стенки канавки наклонены под углом 45° к поверхности грампластинки. На внутренней стенке канавки, т. е. на стенке, обращенной к центру диска, записывается левый канал, а на внешней стенке — правый канал (рис. 14). В связи с тем что движения резца направлены одно по отношению к другому под углом 90°, взаимное проникание каналов теоретически может быть равно нулю; дальше будет видно, что некоторое проникание канала в канал неизбежно. При монофонической записи колебания записываются в виде двух идентичных следов на обеих стенках канавки. Резец при вырезании канавки совершает боковые (поперечные) движения. В результате этого канавка изгибается, но ширина ее остается всегда одинаковой (рис. 15).

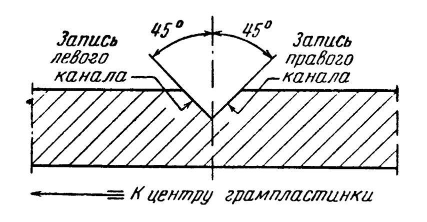


Рис. 14. Принцип записи стереофонической грампластинки по системе 45/45.

Резец для стереофонической записи — треугольной формы. Он имеет две режущие грани, расположенные симметрично по отношению к вертикальной оси, а одна по отношению к другой под пря-

* С января 1960 г. в СССР ведутся опытные передачи стереофонического радиовещания с одного УКВ ЧМ-передатчика по системе, разработанной ИРПА, Д. И. Гаклин, Л. М. Кононович, В. Г. Корольков, Стереофоническое радиовещание и звукозапись, Госэнергоиздат, 1962. (*Прим. ред.*)

мым углом (45°+45°). Сигнал от каждого канала перемещает режущую кромку в направлении, перпендикулярном ее длине. Поэтому результирующее движение резца представляет собой не простое боковое движение от одной стенки к другой, а сложное движение по двум направлениям в плоскости режущих граней. Если монофонический резец может совершать только боковые перемещения, то стереофонический резец, кроме этого, должен обладать еще возможностью перемещения в вертикальном направлении. Вырезанная таким резцом канавка по своей форме значительно сложнее формы канавки монофонической записи: ширина и глубина ее непостоянны.

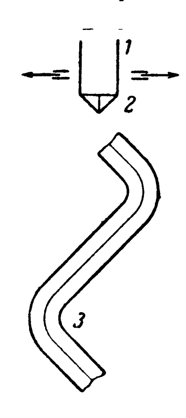


Рис. 15. Запись монофонической грампластинки.

1 — резец рекордера, *2* — движения резца; *3* — форма канавки.

На рис. 16 показаны различные формы стереофонической канавки по системе 45/45 с соответствующими перемещениями острия записывающего резца.

Если ни в одном из стереофонических каналов нет сигнала, то обе стенки канавки остаются незаписанными и каждая из них наклонена на 45° по отношению к плоскости симметрии канавки, которая в этом случае имеет постоянные ширину и глубину, так как резец неподвижен (рис. 16,*а*).

На рис. 16,*б* показана канавка с записью на внутренней стенке (сигнал подается только от левого канала). На резец воздействует только одно усилие, направленное под углом 45°, т. е. перпендикулярное внутренней стенке. Следовательно, движение резца не оказывает никакого действия на другую стенку канавки.

На рис. 16,*в* все изображено в обратном порядке — запись только на внешней стенке (сигнал подается только от правого канала).

На рис. 16,*г* показана запись обоих каналов. На резец воздействуют два взаимно-перпендикулярных усилия, направленных под углом 45° относительно плоскости симметрии канавки Резец приводится в движение равнодействующей усилий, поступающих от каждого канала. Если, например, сигналы от обоих каналов в фазе, то получается поперечная запись, а если у них одинаковая амплитуда, то канавка вырезается точно такая, как при монофонической записи. В этом нет ничего удивительного, так как два одинаковых сигнала, постоянно находящихся в фазе, неизбежно должны быть идентичными, а значит, и по обоим каналам передается один и тот же сигнал. Именно по этой причине и возможна совместимость систем.

Обычно при записи на стереофоническую грампластинку сигналы от обоих каналов не идентичны. Сигналы иногда могут быть в фазе, но иметь разную амплитуду; тогда запись будет поперечная, но с разной шириной канавки. Смещение сигналов по фазе на 180° приводит к вертикальному перемещению резца, при этом изменяются как глубина, так и ширина канавки.

На практике при стереофонической записи равнодействующая сил, прилагаемых от двух каналов к резцу, заставляет его двигаться во всех возможных вертикальных и горизонтальных направлениях.

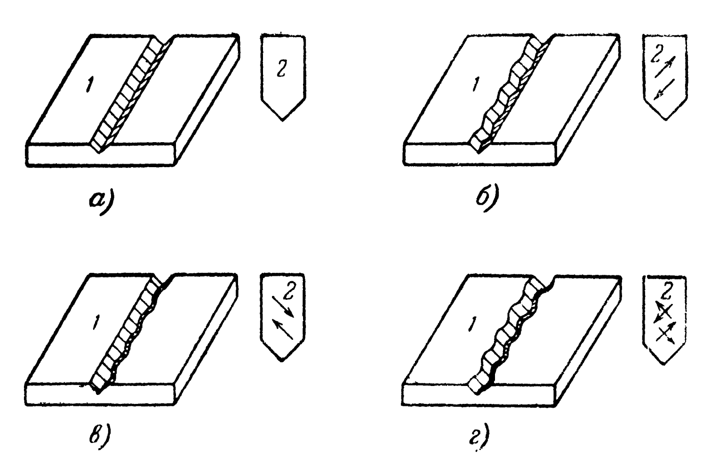


Рис 16 Запись стереофонической грампластинки
1 — грампластинка; *2* — резец,

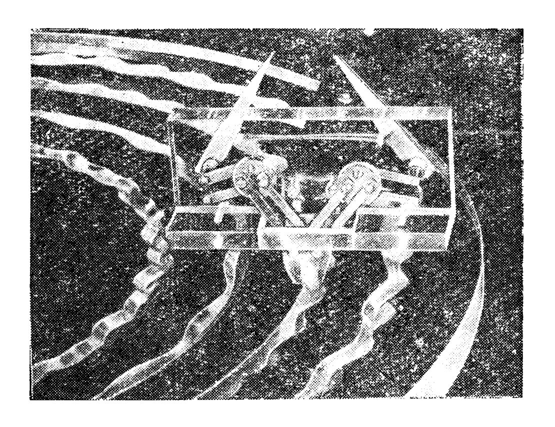


Рис. 17. Демонстрационная стереофоническая грампластинка.

На рис. 17 показана фотография демонстрационной стереофонической грампластинки. Начиная от центра грампластинки, можно различить: монофоническую канавку; канавку, у которой записан только левый канал (на внутренней стенке); канавку, у которой

записан только правый канал (на внешней стенке), и, наконец, стереофоническую канавку, у которой записаны оба канала (на внутренней и внешней стенках).

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАПИСИ

Характеристики записи для стереофонических и монофонических пластинок идентичны.

Для записи на грампластинках обычно применяют магнитные рекордеры[1]. Резец укрепляют на подвижном железном якоре или на подвижной катушке. Скорость колебаний его острия в нейтральной точке прямо пропорциональна интенсивности записываемого сигнала. Следовательно, при постоянном напряжении скорость также остается постоянной, а амплитуда канавки обратно пропорцио-

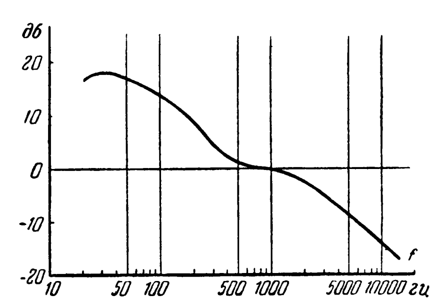


Рис. 18. Характеристика аппаратуры воспроизведения для монофонических и стереофонических долгоиграющих грампластинок.

нальна частоте сигнала. Такая запись называется записью «с постоянной скоростью».

Если амплитуда при записи высоких частот была выбрана какой-то определенной величины для получения приемлемого отношения сигнал/шум, то амплитуда при записи низких частот становится чрезмерной, поэтому нужно увеличивать расстояние между канавками, чтобы они не соприкасались. Следовательно, необходимо уменьшить амплитуду резца при записи низких частот, снизив для этого напряжения низких частот, подаваемых на рекордер. Для этой цели все низкие частоты от 50 до 300—500 *гц* записываются с постоянством амплитуды.

Так как трудно поддерживать удовлетворительное отношение сигнал/шум на высоких частотах при записи с постоянной скоростью, то приходится предварительно поднимать высокие частоты в усилителе записи.

---

[1] В настоящее время применяются электродинамические рекордеры (*Прим. ред.*)

Характеристику записи, т. е. кривую, представляющую собой зависимость напряжения усилителя записи от частоты, можно разделить на три участка: участок низких частот, напряжение которых ослаблено; участок средних частот, которые записываются с постоянной скоростью, и, наконец, участок высоких частот, напряжение которых усилено.

В настоящее время существуют две основные характеристики записи: одна для грампластинок на скорость 78 *об/мин*, а другая для долгоиграющих, которая была впоследствии принята и для стереофонических грампластинок. В связи с тем что пластинки на скорость 78 *об/мин* постепенно исчезают, остается действующей только одна характеристика, что упрощает разработку предварительных усилителей, в которых имеется лишь одна фиксированная коррекция.

Такая характеристика для аппаратуры воспроизведения звука изображена на рис. 18. Центральная часть кривой при постоянной скорости практически исчезла. Аппаратура записи имеет обратную характеристику для того, чтобы воспринимаемый слушателем звук соответствовал звучанию оркестра.

Так как при записи происходит завал низких частот, то при воспроизведении их необходим подъем на 18 *дб* (на частоте 30 *гц*). В качестве средней точки характеристики избрана частота 1 000 *гц*, которая не корректируется.

Высокие частоты, которые при записи подвергаются большему усилению, при воспроизведении заваливаются на 14 *дб* (на частоте 10 *кгц*).

Обычная игла для воспроизведения монофонических долгоиграющих пластинок имеет радиус закругления острия 25 *мк*. Для стереофонических грампластинок был избран радиус закругления иглы, равный 17 *мк*. Поэтому не следует проигрывать стереофонические грампластинки обычной иглой, так как она повредит канавку. Применение более острой иглы для проигрывания стереофонических грампластинок повлекло за собой соответствующее снижение веса звукоснимателя, чтобы предотвратить слишком быстрый износ иглы и канавки.

Длительность звучания стереофонической грампластинки несколько меньше длительности звучания аналогичной монофонической, так как сложная канавка стереофонической записи занимает бо́льшую площадь, чем обычная канавка.

С другой стороны, стереофоническая грампластинка записывается при уровне сигнала, меньшем принятого для монофонических грампластинок.

Действительно, если принять уровень одинаковый с монофонической записью за счет допущения заметных искажений, то вследствие того, что стереофонические звукосниматели имеют меньшую чувствительность, чем монофонические, и уровень стереозаписи также меньше, стереофонические воспроизводящие усилители должны обладать большим коэффициентом усиления. И наконец, шумы, вызываемые вибрациями электродвигателя проигрывателя и подвеской диска, более заметны при воспроизведении стереофонической пластинки вследствие чувствительности стереофонического звукоснимателя к вертикальной составляющей вибраций.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Наиболее распространенные звукосниматели, как стереофонические, так и обычные, можно разделить на две категории:

1. Магнитные звукосниматели, реагирующие на изменения скорости, имеющие подвижный сердечник или подвижную катушку. Выходное напряжение у этих звукоснимателей пропорционально скорости вибрации иглы.

2. Пьезоэлектрические звукосниматели, реагирующие на изменения амплитуды. Выходное напряжение у таких звукоснимателей изменяется в зависимости от амплитуды записи канавки. Однако если в качестве нагрузки к пьезоэлектрическому звукоснимателю подключить сопротивление, то его характеристики изменяются и становятся весьма близкими к характеристикам звукоснимателя с постоянной скоростью, что облегчает их подключение к усилителю

МАГНИТНЫЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

Независимо от того, имеют ли они подвижный стальной сердечник или подвижную катушку, эти звукосниматели работают по одинаковому принципу. Изменение магнитного потока в этих звукоснимателях создается колебаниями магнитного сердечника или подвижной катушки. Эти колебания в свою очередь воспроизводят колебания иглы под воздействием бегущей канавки записи.

Выходное напряжение звукоснимателя пропорционально изменению магнитного потока, пересекающего проводник, следовательно, пропорционально скорости движения иглы, измеряемой от ее нейтрального положения. Выходное напряжение должно приводиться относительно скорости иглы. Можно также указывать отношение реального выходного напряжения к напряжению, которое было бы получено при скорости 1 *см/сек.* Оно выражается в децибелах. Таким образом, можно говорить, что выходное напряжение магнитного звукоснимателя равно 20 *мв* при 3,16 *см/сек.*

Звукосниматели с подвижной катушкой дают выходное напряжение порядка нескольких милливольт (при скорости иглы 3,16 *см/сек*). Такой низкий уровень выхода получается в результате требования облегчения звукоснимателя, вызывающего ограничение количества витков в катушке.

Звукосниматели с подвижным магнитным сердечником, иногда называемые звукоснимателями с переменным магнитным сопротивлением, в этих же условиях дают несколько большее выходное напряжение; оно может достигать 100 *мв.* Для соединения звукоснимателей с подвижной катушкой и с подвижным сердечником с усилителем требуется повышающий трансформатор. Полное сопротивление таких звукоснимателей на частоте 1 *кгц* от 200 *ом* до нескольких килоом, тогда как вход усилителя обычно бывает

рассчитан не менее чем на 100 *ком*. Поэтому и необходимо применять повышающий трансформатор. Эти звукосниматели применяются в высококачественных воспроизводящих установках.

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

Когда пьезоэлектрический кристалл подвергается механическому воздействию, тогда между электродами, установленными на двух противоположных сторонах кристалла, возникает электрическое напряжение, пропорциональное механическому воздействию. Воспроизводящая игла жестко соединена с одним из концов кристалла, другой конец которого жестко соединен с массой тонарма. Запись в канавке заставляет колебаться иглу, при этом характер записи определяет выходное напряжение звукоснимателя. Поэтому, когда приводят величину выходного напряжения звукоснимателя, всегда указывают, на какой частоте производились измерения, так как грампластинки записывают «с постоянной скоростью», при этом амплитуда записи обратно пропорциональна частоте. Следовательно, звукосниматель, дающий 1 *в* на частоте 1 *кгц*, будет давать примерно 3 *в* на частоте 300 *гц*. Поэтому на низких частотах необходимо снижать усиление, чтобы выровнять частотную характеристику при воспроизведении и избежать перегрузки входной лампы усилителя.

Полное сопротивление пьезоэлектрического звукоснимателя эквивалентно емкостному сопротивлению конденсатора величиной от 1 000 до 2 000 *пф* при монофонии и от 400 до 700 *пф* на каждый канал при стереофонии. Оптимальное сопротивление нагрузки звукоснимателя зависит от способа подключения его к усилителю. Если желательно сделать характеристику пьезоэлектрического звукоснимателя похожей на характеристику электромагнитного, то следует выбирать нагрузку в пределах от 100 до 200 *ком*. Если же характеристика должна остаться без изменений, то полное сопротивление нагрузки должно быть в пределах от 1 до 5 *Мом*.

Напряжение, даваемое высококачественным пьезоэлектрическим кристаллом на частоте 1 *кгц*, составляет примерно 0,5 *в* для монофонического звукоснимателя и 0,3 *в* для стереофонического.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ЗВУКОСНИМАТЕЛЯ

Принцип записи стереофонических грампластинок по методу 45/45 изложен в предыдущей главе.

Запись такой сложной канавки необходимо «прочитать» звукоснимателем с одной иглой, разделив при этом записи на вутренней и внешней стенках канавки так, чтобы каждую из них можно было направить на усилители, соответствующие левому и правому каналам.

Монофонический звукосниматель должен преобразовывать в электрические сигналы лишь боковые вибрации, вырезанные в канавке грампластинки. При этом игла не должна перемещаться в вертикальной плоскости. Конструкция стереофонического звукоснимателя должна быть такой, чтобы игла могла перемещаться как в

горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. При этом игла должна воспроизводить очень сложные колебания и ориентироваться по составляющей канавки грампластинки.

Горизонтальная или вертикальная подвижность острия иглы называется «податливостью». Она должна быть равномерной во всех направлениях.

Игла с помощью жесткой детали соединяется с двумя электромагнитными или пьезоэлектрическими элементами, образующими стереофонический звукосниматель. Каждый из этих элементов наклонен по отношению к игле под углом 45°.

Таким образом, запись канавки разделяется: каждая сторона канавки передает свои колебания соответствующему элементу звукоснимателя.

Такой результат довольно легко получить для некоторых частот. Значительно труднее осуществить это для всей полосы звуковых частот.

Разделение каналов на разных частотах происходит неодинаково; наблюдаются механические резонансы, приводящие к смешиванию сигналов двух каналов, т. е. проникание канала в канал. Считают необходимым получать разделение каналов не менее чем на 20 *дб*. Со своей стороны изготовители грампластинок ставят перед собой задачу получить разделение каналов, равное или большее 30 *дб*.

На частоте около 1 000 *гц* довольно легко достичь хорошего разделения (порядка 25 *дб*), тогда как на более низких частотах добиться разделения значительно труднее, и оно иногда составляет всего лишь 10 *дб*. Это не имеет большого значения, так как стереофонический эффект мало выражен на низких частотах вследствие соизмеримости длины волны на этих частотах с разницей в пути звука к обоим ушам.

На высоких частотах также труднее добиться хорошего разделения каналов, поэтому принимаются серьезные меры для улучшения разделения каналов на высоких частотах, так как стереофонический эффект определяется главным образом разницей в разделении спектра высоких частот.

Как правило, выходное напряжение стереофонического звукоснимателя в каждом канале меньше напряжения, которое дает монофонический звукосниматель (той же системы). Это объясняется, во-первых, тем, что стереогрампластинки записываются с меньшим уровнем, а во-вторых, тем, что колебания, передаваемые на каждый из двух элементов стереофонического звукоснимателя, имеют меньшую, чем у обычного звукоснимателя, амплитуду.

Игла стереофонического звукоснимателя имеет радиус закругления около 17 *мк*.

Как уже упоминалось в предыдущей главе, чтобы предотвратить износ иглы и грампластинки, следует уменьшить приведенный к концу иглы вес звукоснимателя. Приведенный вес стереофонических электромагнитных звукоснимателей регулируется в пределах 2—5 *г*, а пьезоэлектрических — в пределах 4—7 *г*. Сапфировая игла в таких условиях снашивается довольно быстро. Уже после 20 *ч* проигрывания можно заметить (с помощью микроскопа) износ иглы. Поэтому любитель высококачественного звучания, желающий сохранить свои пластинки в хорошем состоянии, должен заменять иглу примерно через 30 *ч* проигрывания.

Поэтому в стереофонии рекомендуется пользоваться алмазной иглой, срок работы которой может быть увеличен, по крайней мере, в 10 раз без риска износа пластинки.

Так как игла стереофонического звукоснимателя может перемещаться во всех направлениях, то он более чувствителен к вибрации электродвигателя проигрывателя, чем монофонический звукосниматель, у которого игла может перемещаться только в горизонтальной плоскости.

Поэтому следует обращать особое внимание на механическую подвеску электродвигателя на плате и монтаж ее в ящике. Необходимо гасить все паразитные вибрации, чтобы они не влияли на работу звукоснимателя. В противном случае в громкоговорителях будет слышно неприятное гудение.

Когда на стереофоническом проигрывателе хотят прослушать обычную (долгоиграющую) грампластинку, кажется, что нет необходимости предпринимать какие-либо меры, так как оба метода записи совместимы. Оба канала усиления воспроизведут одни и те же колебания, потому что на обеих стенках канавки произведена одна запись. В действительности же наблюдается легкий шум, достаточно неприятный, при использовании аппаратуры высококачественного воспроизведения. Он возникает из-за того, что монофоническая канавка, нарезанная поперечным способом с равной глубиной, фактически имеет неравномерную глубину. Монофонический звукосниматель нечувствителен к вертикальным движениям иглы, и поэтому от этих изменений глубины в нем не возникает паразитных напряжений. Стереофонический же звукосниматель чувствителен к изменениям глубины канавки, и эти колебания порождают напряжения нежелательного шума. Поэтому все проигрыватели имеют специальную клавишу или кнопку, позволяющую перейти от воспроизведения стереофонической грампластинки к воспроизведению обычной. Этот переключатель в положении для монофонического воспроизведения включает оба элемента звукоснимателя параллельно. В этом случае паразитные напряжения в элементах оказываются в противофазе и взаимно уничтожаются, благодаря чему воспроизведение обретает первоначальную чистоту.

При переходе к стереофоническому воспроизведению не следует забывать перевести переключатель, чтобы вновь разделить элементы звукоснимателя, соединив каждый из них с соответствующим усилителем.

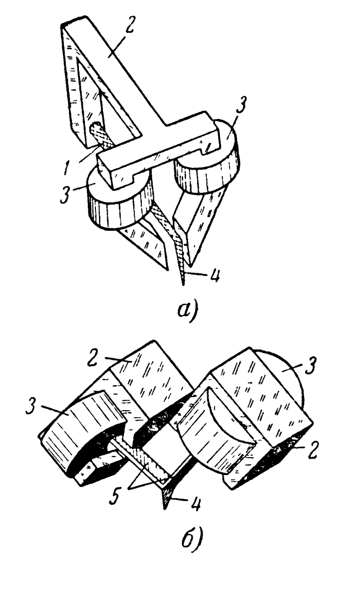
СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

Звукосниматели с подвижным сердечником (с переменным магнитным сопротивлением). Это высококачественные звукосниматели, сделанные по схемам, изображенным на рис. 19.

На рис. 19,*а* показан звукосниматель с одним сердечником. Каждая из двух катушек посажена на свою ветвь единой магнитной цепи. Стерженек с иглой прикреплен к одному из полюсов магнитной цепи. Стерженек находится в зазоре между двумя наконечниками второго полюса магнитной цепи (противоположный полюс). Небольшое смещение этого стерженька в направлении магнитных линий увеличивает зазор в одной ветви магнитной цепи и

уменьшает его в другой ветви. Эти изменения магнитного поля наводят напряжения в катушках *1* и *2* в соответствии с направлением перемещения стерженька с иглой.

Каждый полюсный наконечник магнитной ветви наклонен по отношению к игле под углом в 45°, а сами они взаимно-перпендикулярны. Поэтому колебания стерженька с иглой создают напряжения от внутренней и наружной стенок канавки только в соответствующих катушках.



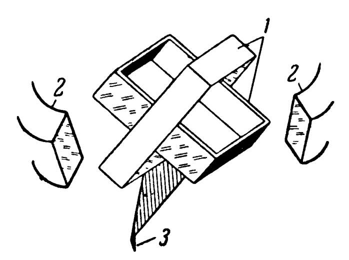


Рис. 20. Схема устройства звукоснимателя с подвижной катушкой.

1 — катушка; *2* — полюса магнита; *3* — игла.

Рис. 19. Схема устройства звукоснимателя с подвижным стальным сердечником.

а — с одной (общей) магнитной цепью; *б* — с двумя (независимыми) магнитными цепями. *1* — стерженек, *2* — магнитная цепь; *3* — катушка; *4* — игла; *5* — двойной держатель иглы

На рис. 19,*б* показан звукосниматель с двойной магнитной цепью, который по принципу своего действия существенно не отличается от описанного. Игла соединена с двумя взаимно-перпендикулярными стерженьками, которые наклонены к игле под углом 45° каждый. Стерженьки проходят в зазорах двух магнитных цепей, имеющих по одной катушке. Запись на одной стороне канавки изменяет зазор только в одной магнитной цепи; запись на другой стороне канавки точно так же изменяет зазор только в другой магнитной цепи.

Благодаря очень малой массе подвижных частей частотная характеристика таких звукоснимателей может быть линейной в пределах от 20 *гц* до 10 и даже 15 *кгц*. Давление иглы на грампластинку составляет от 2 до 5 *г*. Выходное напряжение в канале на частоте 1 000 *гц* при скорости иглы 5 *см/сек* равно примерно 7—8 *мв*. Податливость системы звукоснимателя составляет $3 \cdot 10^{-6}$ *см/дин*, а разделение каналов в диапазоне от 100 до 7 000 *гц* равно 20 *дб*

Звукосниматели с подвижной катушкой. Это также высококачественные и дорогие звукосниматели (рис. 20).

Две катушки расположены в зазоре постоянного магнита одна по отношению к другой под углом в 90°. Наклон катушек к игле составляет 45°.

Обе катушки укреплены в подвеске карданного типа с помощью четырех рубиновых опор; таким образом, катушки могут перемещаться независимо одна от другой. Это устройство напоминает конструкцию рамок гальванометров.

Игла укреплена как бы на плавающем устройстве; она удерживается только рубиновыми опорами и лапками подвески.

Таким образом, запись на стенках канавки порождает на выходе катушек независимые напряжения.

Частотная характеристика этого звукоснимателя обычно линейна в диапазоне примерно от 30 до 15 000 *гц*. Выходное напряжение невелико — от 2 до 4 *мв* на канал при скорости иглы 10 *см/сек*. Полное сопротивление катушек порядка нескольких ом. Податливость системы звукоснимателя порядка $5 \cdot 10^{-6}$ *см/дин*. Игла оказывает на грампластинку давление от 2 до 4 *г*. Разделение каналов порядка 20—25 *дб* в широкой полосе частот.

Для соединения звукоснимателя с предварительным усилителем (который следует размещать как можно ближе к тонарму) нужен двойной повышающий трансформатор.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

Эти типы звукоснимателей получили наибольшее распространение благодаря их меньшей стоимости и большим выходным напряжениям на канал, что облегчает конструкцию предварительного усилителя.

Пьезоэлектрический эффект достигается применением кристаллов сегнетовой соли или керамики на основе титаната бария.

Конструкции звукоснимателей различаются преимущественно способом механической связи между иглой и двумя пьезоэлектрическими элементами. Здесь уже нет возможности прибегать к помощи электрической связи более гибкой и легкой и, что самое главное, не имеющей паразитных резонансных колебаний. Речь может идти лишь о механической связи. На рис. 21 изображено несколько теоретически возможных вариантов механической связи в пьезоэлектрическом звукоснимателе. Кристаллы всегда располагаются взаимноперпендикулярно и с наклоном в 45° по отношению к оси иглы. Игла укрепляется на конце длинного стерженька. В месте крепления иглы этот стерженек опирается на одну или несколько деталей механической связи. Свободный конец стерженька с иглой может перемещаться как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Движения стерженька ограничены лишь его сопротивлением кручению, которое и определяет податливость всего элемента.

На рис. 21,*а* кристаллы соединены непосредственно с деталью, имеющей форму буквы V; колебания, соответствующие каждой стороне канавки, передаются на соответствующий кристалл.

На рис. 21, *б* кристаллы ориентированы иначе. Концы обоих кристаллов связаны с соединительными пластинами, которые в свою очередь опираются на стерженек с иглой. Соединительные пластины

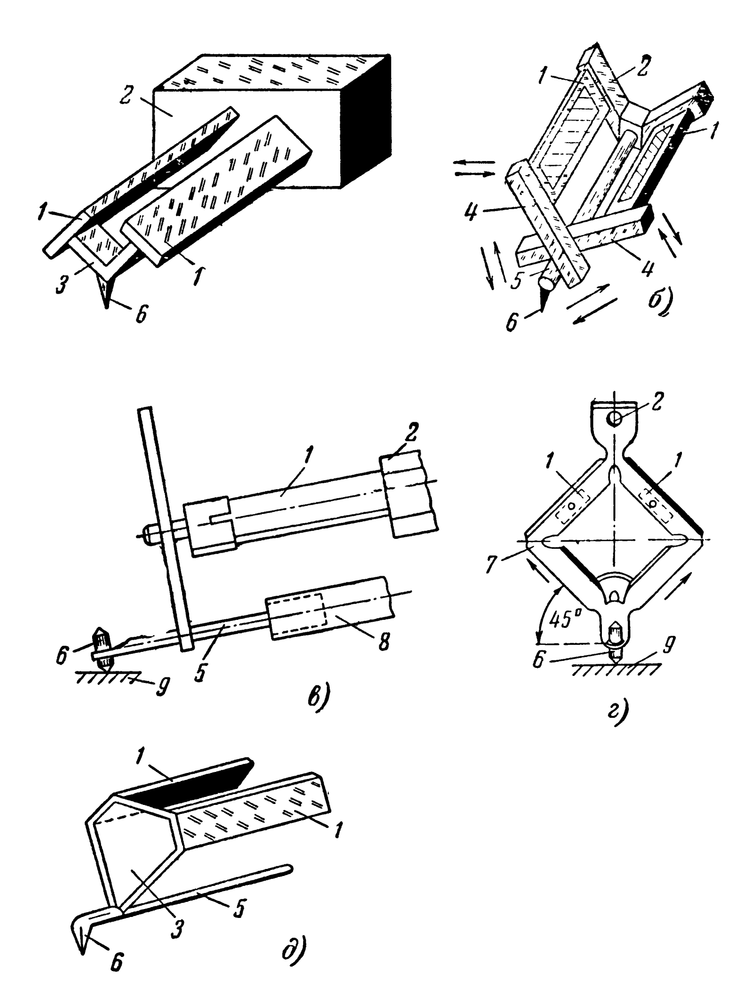


Рис. 21. Схематическое устройство стереофонических пьезоэлектрических звукоснимателей.

а — непосредственное соединение кристаллов с V-образной деталью; *б* — соединение кристаллов с пластинами, опирающимися на стержень с иглой; *в* — соединение кристаллов с деформирующимся параллелограммом; *г* — то же вид спереди; *д* — соединительная деталь не имеет жесткой связи со стерженьком, несущим иглу (*1* — кристалл; *2* — место крепления кристаллов; *3* — соединительная деталь; *4* — соединительная пластина; *5* — стерженек; *6* — игла; *7* — деформирующийся параллелограмм; *8* — резиновая трубка; *9* — грампластинка).

не имеют между собой механической связи. Поэтому колебания, соответствующие каждой стороне канавки, передаются только на одну соединительную пластину, а через нее на соответствующий кристалл.

На рис. 21,*в* стерженек с иглой передает колебания деформирующемуся параллелограмму, который и передает их на оба кристалла. На рис. 21,*в* показан вид сбоку на эту систему, а на рис. 21,*г* — вид спереди. В этой системе стерженек с иглой не работает на скручивание — он удерживается и тормозится резиновым амортизатором.

На рис. 21,*д* соединительная деталь имеет иную форму, а кристаллы ориентированы так же, как и на рис. 21,*а* и *в*. Соединительная деталь опирается на стерженек, несущий иглу, но не имеет с ним механической связи.

ИСКАЖЕНИЯ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ТОНАРМОМ

Звукосниматель укрепляется на свободном конце тонарма, имеющем прямолинейную или компенсированную форму; тонарм крепится на плате проигрывателя с помощью вращающейся ножки. Поэтому игла колеблется в плоскости, перпендикулярной касательной только к одной канавке. По отношению ко всем другим канавкам ось колебаний иглы образует с касательной некоторый угол, названный «углом ошибки». В этом заключается одна из причин искажения и повышения проникания канала в канал, что снижает стереофонический эффект. Как уже указывалось, улучшение разделения представляет собой основную заботу изготовителей, как грампластинок, так и звукоснимателей с тонармами.

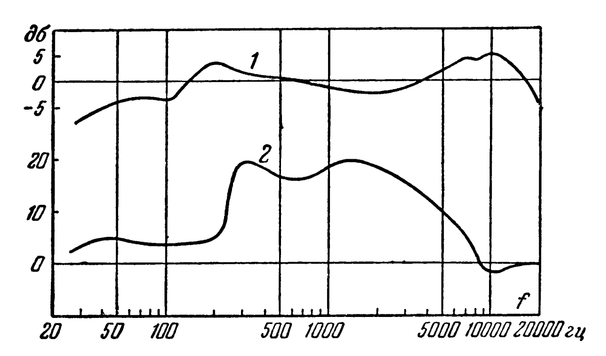


Рис. 22. Характеристика стереофонических звукоснимателей.

1 — частотная; *2* — разделения каналов.

Длина тонарма, угол между двумя прямолинейными отрезками компенсированного тонарма, положение иглы по отношению к центру грампластинки — все эти геометрические параметры влияют на качество воспроизведения.

Обычно выбирают канавку, представляющую собой идеальную касательную в геометрическом центре самой большой из воспроизводимых грампластинок, т. е. пластинки диаметром 30 *см*. В этом случае радиус записи имеет следующие предельные значения: 14,6 *см* в начале пластинки, 6,35 *см* в конце, а средний геометрический радиус 9,6 *см*. Угол максимальной ошибки для канавки, находящейся в самом невыгодном положении, составляет у тонармов лучших образцов 2—4°. При ошибке больше 5° искажения столь значитель

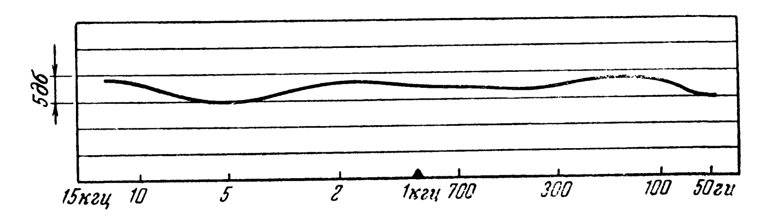


Рис. 23 Частотная характеристика стереофонического звукоснимателя

ны, что такой тонарм не следует применять для воспроизведения стереофонических грампластинок. Действительно, из-за симметричности записи по системе 45/45 угловая ошибка в положении иглы по отношению к канавке снижает разделение между каналами. Запись «левого» канала обнаруживается в «правом» канале, и наоборот. Фактор качества тонарма в отношении проникания канала в канал выражается в децибелах. В идеальном случае, когда угол ошибки равен 0°, это отношение бесконечно велико. Само собой разумеется, что это измерение не учитывает других причин проникания канала в канал: записи грампластинки, элемента звукоснимателя, емкости проводников в тонарме и т. п. Для лучших из имеющихся образцов тонармов это отношение имеет величину порядка 60 *дб*. Оно очень быстро снижается у тонармов, плохо рассчитанных или плохо установленных на плате проигрывателя. На рис. 22 и 23 приведены характеристики двух стереофонических звукоснимателей.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ МАГНИТОФОНЫ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Принцип действия магнитофона основан на законах электромагнитной индукции и магнетизма. Если перед полюсами электромагнита протягивать ленту, покрытую окисью железа, то она будет намагничиваться соответственно изменениям тока, протекающего по обмотке электромагнита. Если после этого с такой же скоростью протягивать записанную, таким образом, ленту перед полюсами

электромагнита, то на выводах его обмотки получим переменное напряжение, подобное тому, которое использовалось при записи.

Лента сохраняет намагниченность очень долго, и ее можно прослушивать без какого бы то ни было износа любое количество раз. Запись, которую не хотят сохранять, можно «стереть»; для этого ленту протягивают перед зазором электромагнита, по обмотке которого протекает большой ток высокой частоты. Окислы железа в этом случае намагничиваются до насыщения, вследствие чего вся

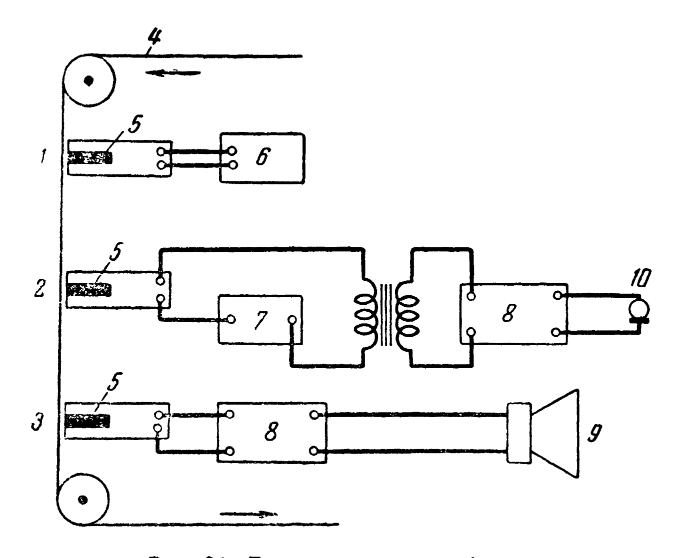


Рис. 24. Блок-схема магнитофона.

1 — стирающая головка; *2* — записывающая головка; *3* — воспроизводящая головка; *4* — лента, *5* — щель; *6* — генератор стирания; *7* — генератор подмагничивания, *8* — усилитель НЧ; *9* — громкоговоритель; *10* — микрофон.

имеющаяся ранее запись стирается и лента вновь может использоваться для новой записи.

Если подавать напряжение звуковой частоты непосредственно к записывающему электромагниту, то обнаружится, что слабые сигналы искажаются. Причина этого заключается в том, что запись происходит на нижнем участке кривой намагничивания (петли гистерезиса). Чтобы работать на прямолинейном отрезке петли гистерезиса, на напряжение записи накладывают напряжение ультразвуковой частоты, создающее дополнительное подмагничивание, смещающее рабочий участок записи на прямолинейную часть петли гистерезиса.

Из этого объяснения становится понятной блок-схема магнитофона, изображенная на рис. 24. В профессиональных магнитофонах имеются три магнитные головки. В любительских магнитофонах из соображений экономии обычно имеются только две головки — сти-

рающая и записывающая-воспроизводящая. Ультразвуковой генератор (обычно один) служит как для стирания, так и для подмагничивания при записи. Точно так же и усилитель НЧ (только один) служит для записи и для воспроизведения (поочередно).

Не следует забывать, что магнитная лента не может стать конкурентом долгоиграющей грампластинки, так как грампластинка

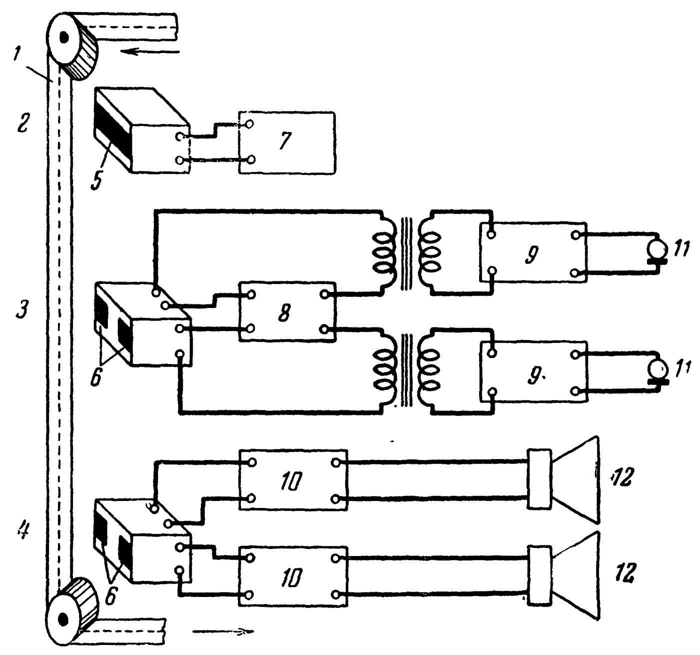


Рис. 25. Блок-схема стереофонического магнитофона.

1 — двухдорожечная лента; *2* — стирающая головка; *3* — двойная записывающая головка; *4* — двойная воспроизводящая головка; *5* — магнитная щель по всей ширине ленты; *6* — две точно расположенные магнитные щели (по одной на каждую дорожку); *7* — генератор стирания; *8* — генератор подмагничивания; *9* — усилители записи; *10* — усилители воспроизведения; *11* — микрофоны; *12* — громкоговорители.

значительно дешевле ленты для записи такой же длительности, но положение может измениться для стереофонии и для других новинок в области магнитной звукозаписи.

Принцип работы стереофонического магнитофона приведен на рис. 25. Лента покрывается окислами железа не по всей ширине, а наносится в виде двух самостоятельных дорожек. Головки применяются двойные, высота их щели уменьшена вдвое. Таким образом, без особых технических усложнений записывают оба канала, необходимые для получения стереофонического эффекта. Этот способ проще записи стереофонических грампластинок. Двойные маг-

нитные головки изготовить легче, чем специальные элементы стереофонического звукоснимателя. Разделение каналов для магнитной записи и воспроизведения достигает 35 вместо 20 *дб* при записи на грампластинку и воспроизведении с нее.

И наконец, полоса пропускания магнитной записи шире полосы пропускания записи грампластинки. Таким образом, используя магнитную запись, можно создать стереофоническую аппаратуру очень высокого качества воспроизведения звука.

МАГНИТНАЯ ЛЕНТА

Стандартная ширина ленты, применяемой для записи на магнитофонах, составляет 6,35 *мм* (в Соединенных Штатах Америки и Великобритании) и 6,25 *мм* (в Европе). Оба типа ленты могут использоваться на всех магнитофонах.

Магнитная лента состоит из: основы (подложки) из триацетатцеллюлозы, хлорвинила или майлара толщиной 20, 30 или 50 *мк*, нанесенного на основу слоя магнитного порошка толщиной 9—18 *мк* и слоя лака, делающего поверхность пленки исключительно гладкой, чтобы снизить шумы, вызываемые трением ленты о головки магнитофона.

Лента с подложкой толщиной 50 *мк* предназначается для профессиональных целей. Для любительской записи используют ленту с подложкой толщиной 30 *мк*, покрытую магнитным слоем толщиной 15 *мк*, или ленту, получившую название «ленты двойной длительности» (толщина подложки 20 *мк*, а магнитного слоя 9 *мк*).

Существуют два типа магнитного слоя, рассчитанных на различные скорости протяжки ленты:

из окислов желтого или светло-коричневого цвета (на малые скорости); окись железа Fe_2O_3 имеет кристаллическую структуру в виде тонких иголок размером около 0,5 *мк*, слой имеет плотность окислов порядка 25%;

из окислов красно-коричневого цвета (на высокие скорости); кристаллы имеют кубическую форму, размеры зерен около 3 *мк*, плотность окислов в слое порядка 35%.

Окислы всегда смешиваются со связующим веществом (ацетатцеллюлоза, нитроцеллюлоза или виниловая смола).

Коэрцитивная сила различных окислов порядка $16 \cdot 10^3$—24×10^3 *а/м*, а остаточная индукция 0,05—0,08 *тл*. Коэрцитивная сила должна быть достаточно высокой, чтобы правильно передать запись высоких частот, но не слишком большой, чтобы не затруднять стирание.

Необходимая величина остаточной индукции в свою очередь позволяет получить достаточный уровень воспроизведения и хорошую частотную характеристику на низких частотах.

Лента для низких скоростей хорошо воспроизводит высокие частоты; этот тип ленты наиболее широко используется в любительской аппаратуре.

Большое значение имеет также величина динамического диапазона — так называется отношение полезного сигнала к собственному шуму ленты, выраженное в децибелах. Различают собственный шум новой ленты без записи; модуляционный шум, когда лента установлена в работающий магнитофон и включен генератор подмагничивания, и шум стирания, когда запись на ленте была стерта магнитофоном. Эти различные способы измерения динамического диапазона в за

висимости от типа магнитофона дают значения динамического диа пазона в пределах от 50 до 70 *дб.*

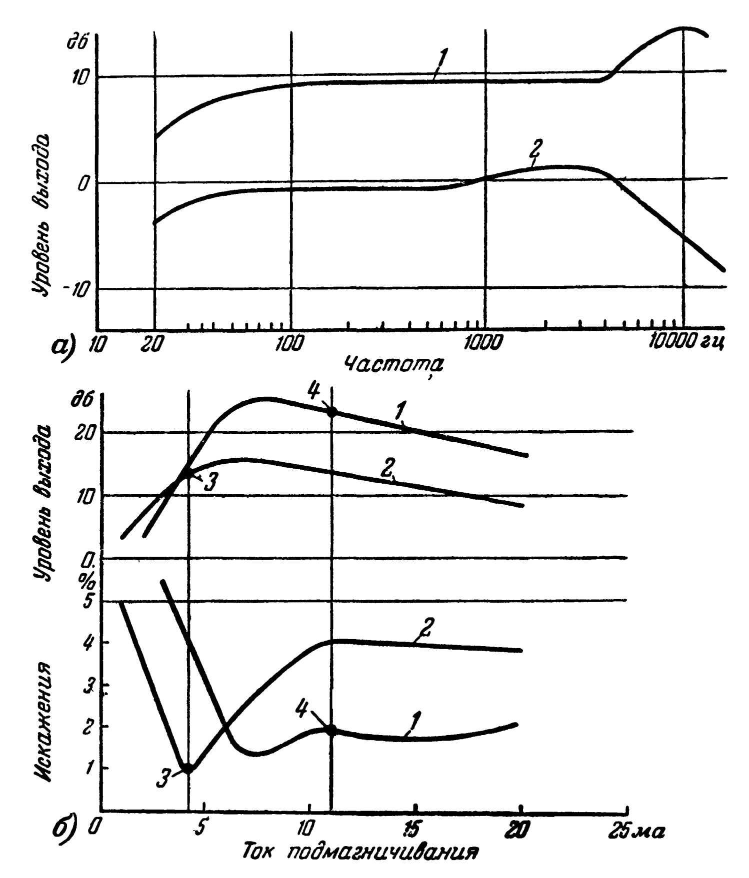


Рис. 26. Характеристики лент на малые и большие скорости

а — частотные характеристики; *б* — уровни выхода и искажений в зависимости от тока подмагничивания.
1 — лента на малые скорости; *2* — лента на большие скорости; *3* — точки оптимальной регулировки для лент на большие скорости; *4* — точки оптимальной регулировки для лент на малые скорости

И наконец, надо учитывать явление копирэффекта (эхо), т. е. переход записи вследствие плотного соприкосновения одного витка ленты на соседние витки этой же катушки. Отношение уровней паразитного и записанного сигналов выражают также в децибелах. Для пленок на малые скорости это отношение имеет величину порядка

50 *дб*, а для пленок на высокие скорости удалось достичь отношения около 60 *дб*. Изображенные на рис. 26 кривые позволяют сравнить характеристики, полученные для лент на низкие и на высокие ско-

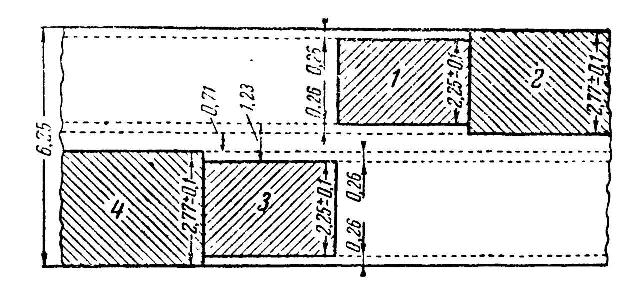


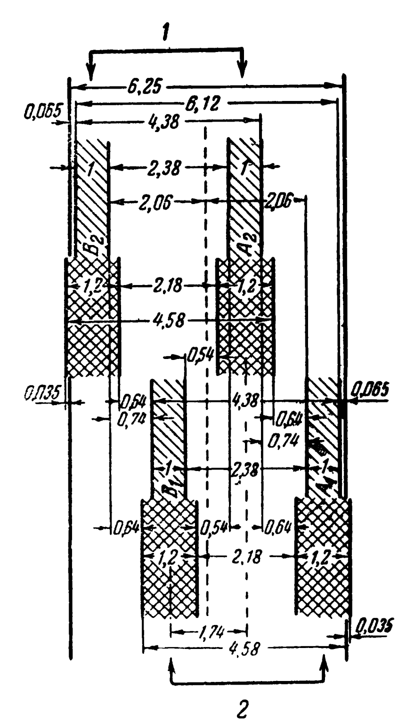
Рис. 27. Размеры двухдорожечной ленты.

1 — верхняя дорожка записи и воспроизведения; *2* — верхняя дорожка стирания; *3* — нижняя дорожка записи и воспроизведения; *4* — нижняя дорожка стирания.

рости. Характеристики обеих лент снимались в одинаковых условиях.

Лента шириной 6,25 *мм* может быть полностью покрыта магнитными окислами. Однако для снижения себестоимости часа звучания и для возможности стереофонической записи разработаны двух-и четырехдорожечные ленты.

На рис. 27 показаны размеры двухдорожечной ленты. Разделение между двумя дорожками ленты составляет от 25 до 36 *дб*, а динамический диапазон достигает 45—50 *дб*. Уровень сигнала при применении головок высокого качества почти такого же порядка, что и у однодорожечной ленты. Естественно, что такую ленту можно использовать и для монофонической записи: в этом случае продолжительность звучания по сравнению с однодорожечной лентой возрастает вдвое. При стереофони-



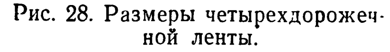


Рис. 28. Размеры четырехдорожечной ленты.

1 — первая пара дорожек; *2* — вторая пара дорожек

ческой записи длительность звучания такая же, какую дает однодорожечная лента при обычной записи.

На рис. 28 показаны размеры четырехдорожечной ленты. Ширина дорожки составляет 1 *мм*, а расстояние между дорожками 0,74 *мм*. Таким образом, при стереофонической записи длительность звучания можно увеличить в 2 раза, а при монофонической записи — в 4 раза. При этом уровень сигнала снижается около 6 *дб*. Лентопротяжная система и юстировка щелей магнитных головок должны выполняться с большой точностью. Ширина щели магнитных головок должна быть порядка 5—3 *мк*.

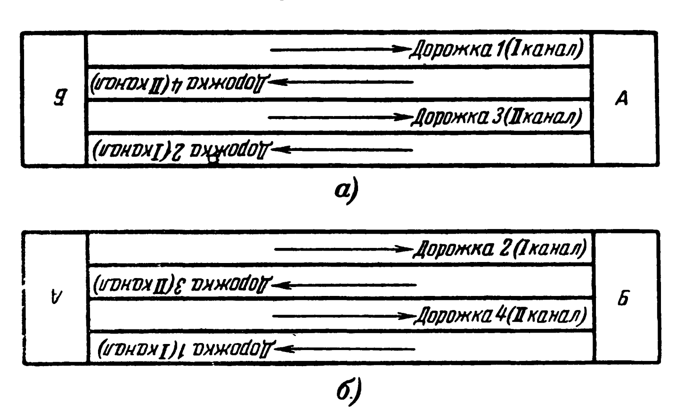


Рис. 29. Схематическое изображение записи четырех дорожек на стереофоническом магнитофоне. Сначала записывают ленту в положении *а;* затем катушку переворачивают и продолжают запись в положении *б.*

После записи катушки переворачивают. При стереофонической записи дорожки записываются через одну, т. е. сначала записывают нечетные дорожки, а затем катушку переворачивают и продолжают запись на четных дорожках (рис. 29). Таким образом, разделение каналов не изменяется, так как две одновременно работающие дорожки разделены между собой еще одной дорожкой.

Потери высоких частот, вызываемые неплотным прилеганием ленты к поверхности магнитной головки из-за недостаточной гибкости подложки и шероховатости поверхности, имеют здесь вследствие более низкого уровня полезного сигнала относительно большее значение. Следовательно, для четырехдорожечных лент следует применять сверхтонкие подложки с безукоризненно отполированной поверхностью, а магнитный слой не должен иметь никаких неровностей. Лучшие результаты дают ленты с подложкой из майлара. Работать с ними не очень легко, поэтому эти ленты выпускают на специальных кассетах, облегчающих обращение с лентой, ее классификацию и воспроизведение. Благодаря различным усовершенствованиям можно полагать, что в ближайшее время ленты со стереофоническими записями станут конкурировать с грампластинками.

МАГНИТНЫЕ ГОЛОВКИ

Принцип действия стирающих, записывающих и воспроизводящих магнитных головок одинаков. Они представляют собой магнитную цепь с зазором, на которую навита обмотка. Однако для достижения наилучших результатов конструкции головок различны. В любительской аппаратуре применяют одну (комбинированную) головку для записи и воспроизведения. В этом случае добиваются удовлетворительного компромисса между оптимальными характеристиками обеих функций. Скорость протяжки ленты также относится к величинам, определяющим характеристики головок. Скорость 38 *см/сек* предназначена для профессиональной аппаратуры, и на любительских моделях она не встречается. Магнитофоны высокого качества имеют следующие скорости: 19; 9,5 и 4,75 *см/сек*. Наибольшее распространение получила скорость 9,5 *см/сек*.

Полагают, что в будущем скорость 4,75 *см/сек* может дать хорошие результаты при воспроизведении фабричных магнитофильмов со стереофонической записью. Диктовка корреспонденции будет тогда производиться на скорости 2,37 *см/сек*.

Чем меньше скорость протяжки ленты, тем труднее сделать головки, способные дать хороший результат.

Стирающая головка. Для того чтобы получить хорошее стирание, необходимо применять головку с широким зазором (0,1—0,5 *мм*), а чтобы проницаемость цепи оставалась высокой, необходимо применять сердечник с высоким удельным сопротивлением (из тонких листов высокопроницаемых сплавов или из феррита). Таким образом получают интенсивное достаточно широкое стирающее поле без необходимости иметь большую мощность генератора высокой частоты.

Стирающие головки в процессе работы нагреваются, и поэтому нужно следить, чтобы они не вышли из строя. Это особенно относится к головкам с ферритовыми сердечниками, которые в этом случае могут нагреться выше точки Кюри материала сердечника, которая находится в пределах температур от 100 до 160° С.

Головки высокого качества потребляют 0,1 *вт* на частотах от 40 до 200 *кгц*; потребление некоторых других головок достигает 3 *вт*. Можно получить эффективность стирания порядка 80 *дб*. Полное сопротивление обмотки стирающей головки на частоте 50 *гц* порядка нескольких сотен ом.

Записывающая головка. Совершенно необходимо избегать насыщения магнитной цепи записывающей головки, которое вызывает искажение записи. Для этого у сердечника головки делают еще один зазор, повышающий магнитное сопротивление и предотвращающий насыщение. Поэтому магнитная цепь головки имеет два зазора; передний (рабочий) зазор, служащий для записи, и задний зазор, предотвращающий насыщение.

Ширина рабочей щели зависит от скорости протяжки ленты; она может иметь величину от 20 *мк* для скорости 38 *см/сек* до 5 или 3 *мк* для скорости 9,5 или 4,75 *см/сек*. Задний зазор имеет бо́льшую величину; она зависит от проницаемости магнитной цепи и полного сопротивления обмотки и может достигать 0,3 *мм*.

Магнитная цепь изготавливается из тонких листов сплавов с высокой магнитной проницаемостью типа мюметалла, супермал-

лоя или пермзенола. Для этой цели подходит также феррокскуб III С, хотя его начальная магнитная проницаемость ниже.

Головки записи для профессиональной аппаратуры имеют малое общее сопротивление, их обмотки состоят из небольшого количества витков, а полное сопротивление обмотки на частоте 1 *кгц* имеет величину порядка 10—50 *ом* (резонансная частота около 200 *кгц*). Головки для бытовой аппаратуры отличаются высоким общим сопротивлением — около 3 000 *ом* (резонансная частота около 50 *кгц*). При более низкой резонансной частоте создается опасность насыщения током высокочастотного подмагничивания.

Головка с низким полным сопротивлением потребляет ток записи порядка 10 *ма*, тогда как головка с высоким полным сопротивлением для достижения таких же результатов потребляет ток всего лишь 1 *ма*. Эта величина представляет собой сумму токов высокочастотного подмагничивания и тока записи звуковой частоты.

Трение ленты о головку вызывает износ щели. Поэтому щель должна быть защищена износоустойчивой пластической массой. Износ щели приводит к ухудшению записи звукового спектра.

Воспроизводящая головка. Для этих головок предпочитают применять сердечники из металла с высокой проницаемостью (мюметалл, супермаллой, ангистер D); ферриты в этом случае не подходят, так как они дают слишком низкий уровень выходного напряжения.

Щель должна быть широкой, чтобы получить высокое напряжение считывания, и в то же время узкой, чтобы воспроизводить высокие частоты. Поэтому принята некоторая компромиссная ширина щели, зависящая от скорости ленты. Ширина щели имеет величину от 15 *мк* для скорости 38 *см/сек* до 3 *мк* для скорости 4,75 *см/сек*. Предусматривать задний зазор нет необходимости, так как насыщения сердечника опасаться не приходится. Однако следует избегать остаточного намагничивания сердечника.

Для предотвращения влияния внешних полей головка должна хорошо экранироваться. Обычно устанавливают два экрана: первый, ближний к головке экран, из мюметалла, а второй, внешний — из мягкой стали или из меди. Внешний экран предотвращает насыщение мюметалла и позволяет лучше использовать его магнитные свойства.

Уровень напряжения, даваемый воспроизводящей головкой, низкий, особенно у моделей с малым общим сопротивлением.

Профессиональные головки воспроизведения с низким общим сопротивлением (от 10 до 50 *ом*) на скорости 38 *см/сек* дают напряжение порядка 1 *мв*. Головки с высоким общим сопротивлением (около 10 *ком*), предназначенные для бытовых магнитофонов, в зависимости от скорости ленты дают от 2 до 8 *мв*.

Комбинированные головки. Такая головка должна иметь характеристики, сочетающие свойства записывающей и воспроизводящей головок.

Комбинированные головки предназначаются для бытовой аппаратуры; они имеют высокое полное сопротивление. В последних моделях магнитная цепь головки сделана из феррита; кроме рабочей щели она имеет и задний зазор. Рабочая щель имеет ширину 2—5 *мк*. Полное сопротивление у разных моделей колеблется в пределах от 4 до 40 *ком* на частоте 1 *кгц*. Выходное напряжение — около 2—3 *мв* Ток высокочастотного подмагничивания зависит от

типа используемой ленты; ток записи имеет величину в пределах 40—150 *мка*. Частота подмагничивания может быть от 40 до 100 *кгц*.

Полоса пропускания:

20— 6 000 *гц*	на скорости		4,75 *см/сек*
20—12 000 „	„ „		9,5 „
20—20 000 „	„ „		19,0 „

Стереофоническая комбинированная головка. Для получения такой головки достаточно уменьшить высоту щели до 2,25 *мм* при двухдорожечной записи и до 1 *мм* при четырехдорожечной. Затем следует наложить две одинаковые комбинированные головки одна на другую и поместить их в общий корпус.

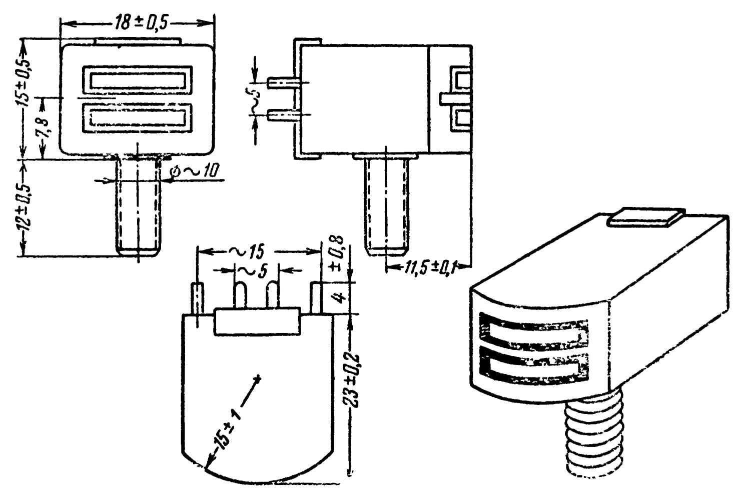


Рис. 30. Стереофоническая комбинированная головка для четырехдорожечной записи.

Для меньшего проникания канала в канал головки следует разделить надежным экраном. Для того чтобы не получился сдвиг между одновременно воспроизводимыми двумя каналами, головки следует устанавливать очень точно, ошибка в 10 *мк* уже ощущается.

На рис. 30 в качестве примера показан внешний вид стереофонической головки для четырехдорожечной записи.

ГЛАВА ПЯТАЯ

СТЕРЕОФОНИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ ЗВУКА

Каждый владелец стереофонического магнитофона наверняка захочет сделать стереофоническую запись с помощью двух микрофонов. Поэтому целесообразно изложить некоторые сведения об

особенностях техники стереофонической записи звука и о характеристиках применяемых микрофонов.

Микрофоны. Применяемые для стереофонической записи микрофоны должны иметь одинаковые частотные характеристики, чувствительность и эквивалентные диаграммы направленности. В принципе это должны быть специально подобранные микрофоны одного типа.

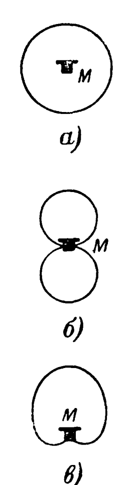


Рис. 31. Теоретические диаграммы направленности микрофонов.

а — ненаправленная (круговая); *б* — двунаправленная (восьмерочная); *в* — однонаправленная (кардиоидная)

Частотная характеристика. Если микрофоны обладают неодинаковой чувствительностью к различным частотам, то при воспроизведении будет создаваться впечатление, что звуки перемещаются слева направо или наоборот в зависимости от того, какой микрофон имеет лучшую чувствительность на данной частоте.

Диаграмма направленности. Если один микрофон имеет диаграмму направленности, отличную от диаграммы направленности другого, то идущие из центра звуки в зависимости от обстоятельств переместятся влево или вправо. При воспроизведении слушатель не сможет правильно определить в пространстве местонахождение того или иного музыкального инструмента.

Чувствительность. Очевидно, что если микрофоны имеют неодинаковую чувствительность, то нарушится звуковой баланс между двумя каналами.

Для стереофонической записи можно применять микрофоны любого типа. При классификации микрофонов по диаграмме направленности, которая представляет собой наиболее важную характеристику для стереофонической записи, различают следующие типы:

а) Ненаправленный микрофон (рис. 31, *а*). Он имеет теоретически одинаковую чувствительность во всех направлениях. Однако форма и размеры корпуса несколько изменяют чувствительность микрофона сзади. Он в большей пропорции воспринимает отраженные звуки и подчеркивает эффект звукового пространства.

б) Двунаправленный микрофон или микрофон с диаграммой направленности в виде восьмерки (рис. 31, *б*). Он воспринимает звуки в двух «заданных» направлениях. Микрофон подчеркивает звуки, поступающие из центра источника звука, и часть отраженных звуков. При этом он почти полностью устраняет звуки, поступающие от боковых направлений.

в) Однонаправленный, или кардиоидный, микрофон (рис. 31, *в*). Он воспринимает звуки, поступающие только от одного направления. Такой микрофон дает большую ясность записи и устраняет звуки, поступающие от других направлений. При профессиональной записи для каждого из каналов часто устанавливают по нескольку микрофонов этого типа.

Этот метод не может использоваться любителем, который должен ограничиться двумя микрофонами одного типа — по одному на канал.

Прежде чем приступать к записи и расстанавливать микрофоны, необходимо проверить, находятся ли они в фазе один по отношению к другому.

Фазирование микрофонов. Для этого подключают два микрофона на два входа магнитофона. Устанавливают их перед проводящим испытания человеком на расстоянии 50 *см* один от другого и записывают речь. Если при воспроизведении записи будет казаться, что звук исходит из точки, расположенной между громкоговорителями, то это означает, что микрофоны включены в фазе. Если же будет создаваться впечатление, что звук исходит из неопределенной зоны, то это будет свидетельствовать о том, что микрофоны включены неправильно. Для устранения этого нужно поменять местами провода, соединяющие один из микрофонов с усилителем. Чтобы не повторять этот эксперимент каждый раз, целесообразно пометить провода обоих микрофонов и входы сдвоенного усилителя.

При проведении этого испытания человек не должен перемещаться, а должен находиться на одном расстоянии от микрофонов. Необходимо также, чтобы громкоговорители были включены также в фазе, так как сдвиг фазы одного громкоговорителя по отношению к другому создает такой же эффект неопределенности месторасположения источника звука.

Описанные здесь различные схемы расположения микрофонов надо предварительно проверить и выбрать наилучшую для записи той или иной конкретной программы. Действительно, в акустике еще очень многое неизвестно, и поэтому к эксперименту прибегают очень часто даже самые лучшие звукооператоры. Говоря точнее, законы акустики точны и известны, но на каждую запись влияет такое большое количество различных условий, что очень трудно учесть их все и рассчитать их воздействие так, чтобы можно было расчетным путем определить наилучшее решение.

Запись способом акустического разделения микрофонов (искусственная голова). Первым приходит на ум расположение микрофонов, получившее название способа искусственной головы. Он состоит в том, что на искусственной голове, сделанной из дерева или какого-либо иного звукоизоляционного материала, вместо ушей укрепляют два микрофона. Эту голову устанавливают перед оркестром на таком расстоянии, чтобы угол слухового восприятия составлял от 30 до 45°.

Было замечено, что форма головы мало влияет на результаты записи. Поэтому в настоящее время пользуются двумя ненаправленными микрофонами, расположенными на расстоянии 20 *см* один от другого и разделенными прямоугольной перегородкой из звукопоглощающего материала (рис. 32).

Запись с помощью разнесенных микрофонов (сдвиг во времени). Два ненаправленных микрофона устанавливают на линии, параллельной источнику звука; расстояние между микрофонами в зависимости от величины оркестра составляет от 2 до 10 *м* (рис. 33).

Для записи камерного оркестра или солиста в сопровождении фортепьяно или скрипки микрофоны разносят на 2 *м*. Но расстояние между музыкантами и микрофонами необходимо увеличить настолько, чтобы угол восприятия не превышал 30—45°

При записи симфонического оркестра микрофоны разносят не более чем на 10 *м* и приближают к оркестру, чтобы угол восприятия был такого же порядка.

Увеличение расстояния между микрофонами сверх 10 *м* создает неприятное впечатление «дыры в середине». Если микрофоны установлены слишком близко к оркестру, то они воспринимают слишком мало отраженных звуков, в результате чего наблюдаются недостаточная объемность и полнота звучания

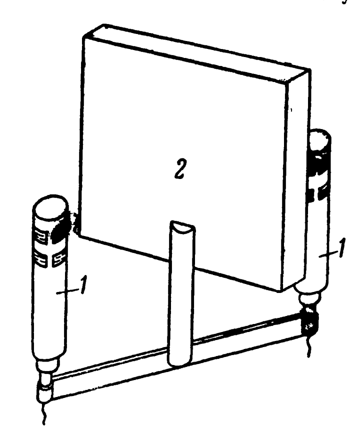


Рис. 32. Запись по методу акустического разделения микрофонов.

1 — микрофоны; *2* — перегородка из звукопоглощающего материала.

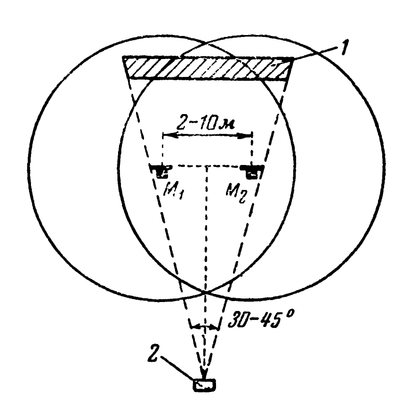


Рис. 33. Расстановка микрофонов для записи по методу разнесенных микрофонов.

1 — источник звука (солисты или оркестр); *2* — воображаемый слушатель

Если микрофоны установлены слишком далеко, то разница в интенсивности между звуками правого и левого каналов становится недостаточной. Отраженные звуки становятся более интенсивными, что снижает ясность и чистоту звучания.

Можно найти промежуточные значения для расстояний между микрофонами и между микрофонами и музыкантами, но сохраняя при этом постоянным угол восприятия в пределах 30—45°.

Запись с различной интенсивностью. В Европе получил распространение способ записи с различной интенсивностью каналов Для этого применяют два двунаправленных (восьмерочных) микрофона, установленных на одном штативе перпендикулярно один другому (рис. 34).

Передние петли характеристики направленности обоих микрофонов направлены на оркестр одна вправо, а другая влево. Каждая из петель характеристики перекрывает также и центральную часть источника звука.

Задние петли характеристики направленности воспринимают отраженные звуки и придают записи эффект объемного звучания

Благодаря двунаправленной диаграмме разница в интенсивности сравнима с той, которую дают два ненаправленных микрофона, находящихся на расстоянии 3 *м* один от другого. Штатив с микрофонами в зависимости от размеров источника звука устанавливают на большем или меньшем расстоянии от источника, с тем чтобы угол восприятия сохранялся в разумных пределах.

Вариант записи с использованием разницы интенсивностей. В этом случае применяют два кардиоидных микрофона, монтируе-

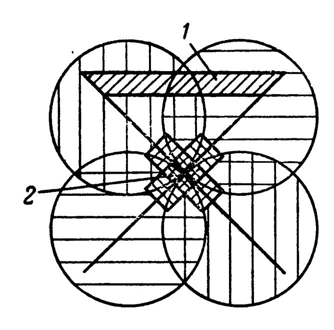


Рис. 34. Расстановка микрофонов для записи по методу разницы интенсивностей.

1 — источник звука; *2* — микрофоны.

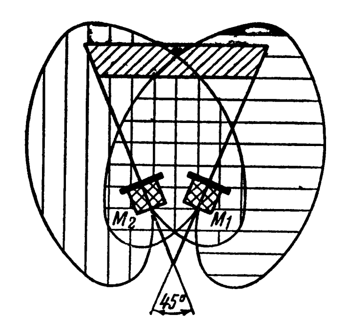


Рис. 35. Вариант расстановки микрофонов для записи по методу разницы интенсивностей с применением однонаправленных микрофонов.

мых на одном штативе, с помощью двух одинаковых подвижных плеч, прикрепленных к центральному стержню (рис. 35). Подвижные плечи устанавливают так, чтобы оси характеристик направленности микрофонов образовали угол около 45°, соответствующий углу восприятия. Принцип этого вида записи такой же, что и описанный выше: стереофонический эффект создается благодаря разнице в интенсивности звуков, идущих от краев источника звука и центра. Восприятие отраженных звуков при этом способе записи значительно меньше, чем это может быть желательно для некоторых записей. Существуют различные комплекты микрофонов и штативов, предназначенные для того или иного вида стереофонической записи. Штатив имеет два подвижных плеча и микрофоны, подобранные для парной работы (рис. 36). Микрофоны можно установить в одном месте один

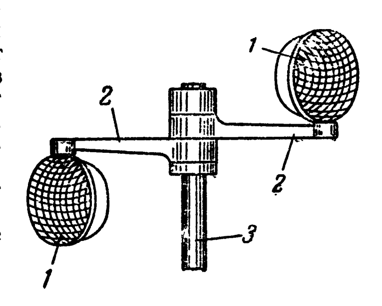


Рис. 36. Специальный комплект микрофонов для стереофонической записи.

1 — микрофон; *2* — подвижное плечо *3* — штатив

под другим и придать каждому направленность в соответствии с нужным углом восприятия. В зависимости от потребностей записи их можно также раздвинуть на некоторое расстояние один от другого.

Существуют также двойные однонаправленные микрофоны, смонтированные в общем корпусе.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

УСИЛЕНИЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая глава посвящена особенностям схем предварительных усилителей или усилителей, специально рассчитанных на работу в стереофонической аппаратуре или приспособленных для этой цели.

Аппаратура, предназначенная для стереофонического воспроизведения звука, состоит из двух каналов усиления, передающих оба стереофонических сигнала раздельно на два громкоговорителя или на две группы громкоговорителей. Каналы усиления, состоящие из

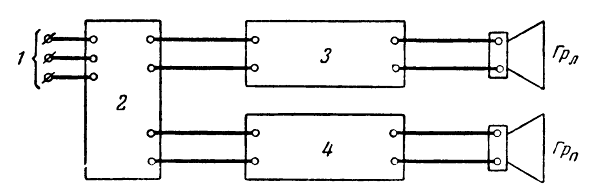


Рис. 37. Блок-схема стереофонического радиограммофона.

1 — к звукоснимателю; *2* — предварительный усилитель; *3* — усилитель левого канала; *4* — усилитель правого канала

одних и тех же основных элементов, могут монтироваться на одном или на нескольких шасси. Рассмотрим устройство (рис. 37), состоящее из сдвоенного усилителя с общей регулировкой обоих каналов и двух отдельных усилителей НЧ с громкоговорителями.

Схемы стереофонических усилителей не имеют никаких особенностей. Поэтому в стереоустановках можно использовать два усилителя, не рассчитанных для работы в стереофонической аппаратуре. Можно использовать также имеющуюся монофоническую установку, дополнив ее вторым усилителем аналогичной конструкции.

Лучше всего при создании новой аппаратуры изготавливать два идентичных канала усиления. Однако испытания, проведенные в различных лабораториях с усилителями, разными как по мощности, так и по частотной характеристике, дали вполне удовлетворительные результаты. Для этого нужно, чтобы изготовляемые предварительные усилители давали возможность выровнять разницу в мощности оконечных каскадов. Если, например, для одного канала используется оконечный усилитель мощностью 20 *вт*, а для другого канала

10 *вт*, то следует отрегулировать усиление предварительного усилителя так, чтобы получить в каждом канале одинаковую мощность порядка до 10 *вт*. В случае превышения этой мощности звуковой баланс между каналами нарушится, от чего пострадает стереофонический эффект.

Разницу в частотной характеристике двух усилителей одинаковой мощности выровнять легче, так как обычно разница в качестве усилителей бывает не слишком велика. Для этого достаточно так установить регуляторы тембра обоих усилителей, чтобы характеристика усиления стала линейной. В этом случае в предварительный усилитель устанавливают сдвоенный регулятор тембра, воздействующий одновременно на оба канала.

В крайнем случае достаточно иметь один высококачественный усилитель, дополнив его очень простым вторым каналом. При этом слушатель все равно получит стереофонический эффект, так как он создается в основном средними и высокими частотами, которые обычно передаются хорошо. Однако такую стереофоническую аппаратуру нельзя называть «установкой высококачественного воспроизведения звука».

СДВОЕННЫЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Предварительный усилитель должен разрабатываться специально для стереофонии, так как именно в его схеме заключены все особенности, характерные для стереофонических усилителей.

В предварительном усилителе должны быть переключатели входов и рода работы «моно — стерео» (эти переключатели могут быть объединены); регуляторы усиления для обоих каналов; регулятор тембра (возможно сдвоенный); регулятор баланса между обоими каналами; переключатель выходов для фазирования громкоговорителей.

Многочисленные примеры подобных схем приведены в гл. 9 и 11. Здесь же излагаются лишь принципы работы специфических для стереофонии схем.

Переключатель входов. С точки зрения теории переключатель входов стереофонического предварительного усилителя отличается от имеющегося в монофоническом усилителе лишь тем, что для направления сигналов на два канала усиления в стереофоническом переключателе несколько большее количество контактов.

Существуют очень простые переключатели с двумя положениями: «стереозвукосниматель — монозвукосниматель», которые включают каналы параллельно или разделяют их. Существуют и более сложные переключатели, предусматривающие: «радиомагнитофон — электромагнитный звукосниматель — пьезоэлектрический звукосниматель — дополнительный вход». В этом случае необходим еще один переключатель «моно — стерео».

Регулировка усиления. В стереофонической аппаратуре усиление регулируется сдвоенным потенциометром с концентрическими ручками или спаренным потенциометром на одной оси.

Регулировка, осуществляемая спаренным потенциометром, хотя и воздействует одновременно на оба канала, но она не позволяет регулировать их раздельно. Такую регулировку чаще всего применяют при создании простой аппаратуры с идентичными каналами уси-

ления. Потенциометры с концентрическими осями позволяют раздельно регулировать каналы. В последнее время появились двойные потенциометры с концентрическими осями, но с фрикционной связью, позволяющие устанавливать оси под определенным углом поворота одна к другой, и затем осуществлять небольшую регулировку, вращая их вместе. При этом остается возможность в любой момент внести изменения в регулировку каждого из каналов. Такой тип

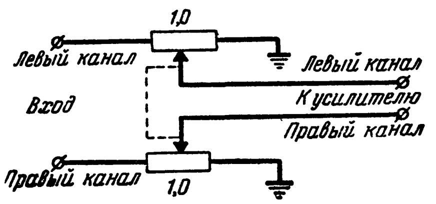


Рис. 38. Регулировка усиления каналов.

потенциометров больше подходит при использовании разных усилителей или разных групп громкоговорителей.

Однако различия между каналами всегда могут возникнуть из-за разницы выходных напряжений элементов стереофонического звукоснимателя, неодинаковой чувствительности громкоговорителей или неодинакового усиления в каналах. Поэтому даже на однотипных

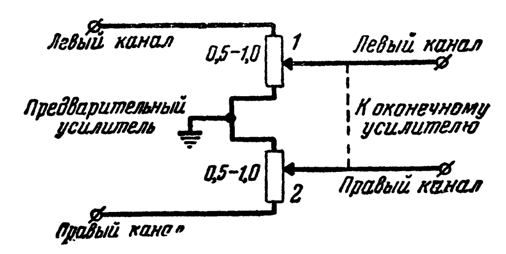


Рис. 39. Регулировка баланса каналов.

1 — линейный или логарифмический потенциометр, установленный в обратную сторону; *2* — линейный или антилогарифмический потенциометр, установленный нормально.

усилителях, кроме регулировки усиления, устанавливают регулятор баланса между каналами.

Для регулировки усиления используются два логарифмических потенциометра сопротивлением около 1 *Мом* каждый, включенных в цепи сеток входных ламп каналов (рис. 38).

Регулировка тембра. В стереофонической аппаратуре встречаются как простые, так и сложные схемы регулировки тембра; ниже приводится большое количество и тех и других. Особенность этого вида регулировки заключается в применении двойных потенциомет-

ров. Так как нарушение тембрового равновесия не столь опасно, то можно использовать спаренные потенциометры на одной оси.

Некоторые заводы-изготовители предпочли регуляторы тембра фиксированным положением и кнопочным переключением. Приме-

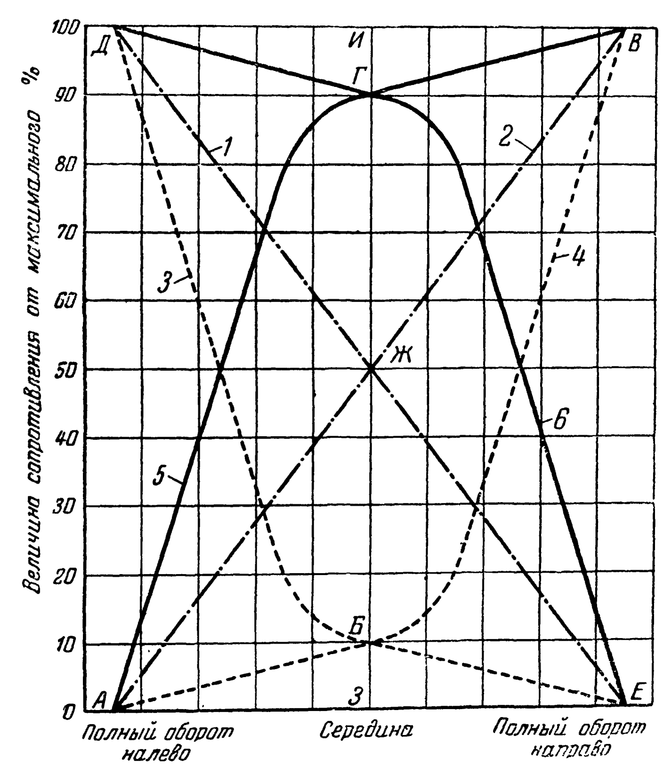


Рис. 40. Кривые изменения сопротивления потенциометров для регулировки баланса.

1 — перевернутый линейный; *2* — нормальный линейный; *3* — перевернутый антилогарифмический; *4* — нормальный антилогарифмический; *5* — перевернутый логарифмический; *6* — нормальный логарифмический.

няя их, можно также устранить рассогласование каналов при настройке.

Регулировка баланса каналов. Этот регулятор служит для устранения отклонений по усилению, которые могут возникнуть где-либо в тракте каналов от звукоснимателя до громкоговорителей. Он позволяет одновременно увеличить усиление в одном канале и уменьшить в другом, не изменяя при этом общую мощность, давае-

мую обоими каналами. Ручка этого регулятора находится сзади шасси, так как часто пользоваться ею нет необходимости.

Существует много схем этого вида регулировки, одна из которых, наиболее распространенная, приведена на рис. 39. Схема предусматривает применение сдвоенного потенциометра на одной оси, который включают в цепи сеток ламп обоих каскадов усиления по напряжению. Обычно один из потенциометров включают на шасси

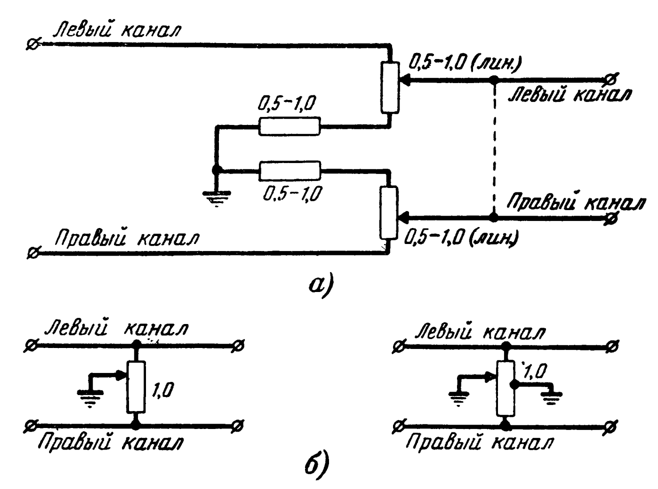


Рис. 41. Другие схемы регулировки баланса.

а — с сопротивлением, включенным последовательно с потенциометром; *б* — с потенциометром со средним выводом или без него

выводом, имеющим минимальное сопротивление относительно шасси, а другой в обратном порядке — выводом с максимальным сопротивлением относительно шасси.

Если используют потенциометры с линейной зависимостью от угла поворота, то получают прямые *АЖВ* и *ДЖЕ* (рис. 40). В этом случае точный баланс каналов определяется точкой *Ж* на пересечении двух прямых. При этом сопротивление, соответствующее отрезку *ИЖ*, включено последовательно с сеткой лампы, а сопротивление, соответствующее отрезку *ЖЗ*, оказывается включенным между сеткой и шасси. Таким образом, ослабление сигнала составляет 50% на каждый канал (чувствительность снижается на 6 *дб*).

Разработаны двойные потенциометры, имеющие логарифмическую зависимость сопротивления от угла поворота оси и включенные в обратном направлении. Благодаря этому получают кривые *АГВ* и *ДГЕ*. Рабочая точка (баланс каналов) в этом случае будет находиться в месте пересечения кривых (точка *Г*). Ослабление сигнала при среднем положении ручки регулятора составляет всего лишь 10% (отрезок *ИГ*).

Однако такие потециометры, кривые которых должны быть точно откалиброваны, довольно дороги. Поэтому можно удовлетво-

риться потенциометрами с линейным законом изменения сопротивления от угла поворота, применив их в схеме, показанной на рис. 41, *а*. Последовательно с каждым потенциометром включено постоянное сопротивление такой же величины. Эта схема позволяет воздействовать лишь на половину сигнала. Следовательно, положение баланса соответствует ослаблению сигнала на 25%, т. е. на 3 *дб*. Диапазон регулировки при этом вполне достаточен, так как он позволяет изменять мощность усилителя одного канала по отношению к мощности усилителя другого на ±6 *дб*.

На рис. 41, *б* показана экономичная схема балансировки с применением только одного потенциометра с большим сопротивлением.

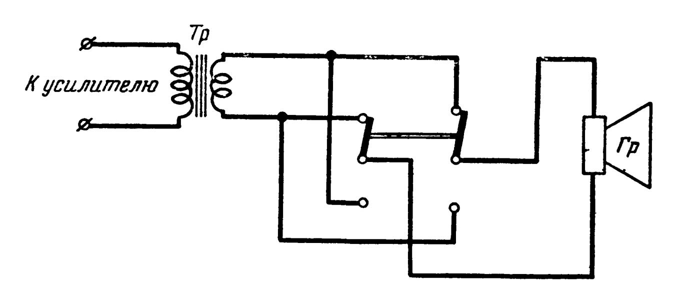


Рис. 42. Переключатель фазирования громкоговорителя.

Недостаток ее состоит в рассогласовании входных сопротивлений сеточных цепей ламп обоих каналов усиления. Действительно, когда подвижный контакт находится не посредине сопротивления потенциометра, то сопротивление, включенное между сетками ламп и шасси, в обоих каналах различно, что изменяет режим работы ламп и ухудшает частотную характеристику усилителей. Этот недостаток можно исправить, используя потенциометр со средним выводом, который соединяют с шасси. При таком включении разница уровней имеет меньшую величину.

Какова бы ни была схема балансировки, регулятор всегда следует устанавливать в цепях сеток, так как нужно воздействовать на напряжение, а не на ток или мощность.

Чтобы облегчить пользование таким регулятором, прибегают к помощи схем с визуальными индикаторами баланса, в которых могут использоваться электронный индикатор, неоновая лампа, обычная электрическая лампа и, наконец, электронный вольтметр. Визуальные индикаторы баланса позволяют точно сбалансировать усилители. Однако они не учитывают влияния головок звукоснимателя, громкоговорителей или акустики помещения, поэтому для достижения безупречной регулировки необходимо дополнительно регулировать балансировку усилителей и на слух.

Переключатель выходов для включения громкоговорителей в фазе. Целесообразность этого переключателя часто подвергается сомнению. Естественно, что в стационарных установках после правильного первоначального включения громкоговорителей нет больше необходимости в таком переключателе.

Переключатель, схема которого изображена на рис. 42, помещается в одном из каналов после выходного трансформатора, чтобы можно было менять направление тока в звуковой катушке громкоговорителя.

При изготовлении предварительного усилителя необходимо обращать особое внимание на монтаж, чтобы не вызвать увеличения проникания канала в канал. Так, например, провода, идущие от головки звукоснимателя к предварительному усилителю, имеют достаточно большую длину, и если не принять мер предосторожности, то емкость между проводниками правого и левого каналов может быть настолько значительной, что создаст возможность вредного взаимного влияния.

Для устранения этого следует применять высокочастотный кабель, емкость которого невелика, а экранировка очень хорошая. Сигналы обоих каналов поступают на предварительный усилитель через переключатели, потенциометры и другие цепи. При разработке аппаратуры следует обращать особое внимание на ее монтаж, чтобы и в этом случае избежать увеличения взаимного влияния между каналами. Эти меры предосторожности направлены в основном на максимальное снижение емкости между общими органами регулировки обоих каналов. Действительно, чтобы как можно полнее воспользоваться стереофоническим эффектом, следует не уменьшать разделения каналов, обеспеченного головкой звукоснимателя. Хороших результатов в стереофонии можно добиться только в том случае, если на выходе громкоговорителей разделение между каналами будет не меньше 20 *дб.*

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ В СТЕРЕОФОНИИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проблемы работы громкоговорителей и их использования в акустических системах очень обширны и вызывают большое количество споров. Поэтому ниже будут рассмотрены только некоторые проблемы громкоговорителей, возникающие в стереофонии.

Здесь даже не ставится задача дать безошибочный рецепт для основных случаев, так как для этого нужно располагать одним из самых важных параметров, какой представляет собой сама комната, где предполагается установить стереофоническую аппаратуру. Размеры, объем, характер стен, мебель, окраска, ковры, двери, застекленные площади и размещение громкоговорителей в этой комнате — все эти факторы влияют на акустическую отдачу установки, а следовательно, и на стереофонический эффект.

ВЫБОР ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ ИЛИ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Никогда не следует торопиться с выбором громкоговорителя, особенно если он предназначен для аппаратуры высококачественного воспроизведения звука. Для выбора громкоговорителей недостаточно

прослушать одну или две грампластинки, так как при этом невозможно выявить все недостатки аппаратуры. Часто приходится довольно долго слушать избранную музыку, чтобы определить, действительно ли громкоговоритель звучит приятно или его работа скорее утомляет слушателя.

Простой громкоговоритель, предназначенный для воспроизведения всей полосы частот, может дать прекрасные результаты, если он установлен в хорошей акустической системе.

Основной недостаток применения по одному громкоговорителю на канал заключается в направленности излучения. Этот недостаток можно смягчить, применив акустическую систему, снабженную отражателем, рассеивающим высокочастотные составляющие. Однако в стереофонии в некоторых случаях специально стремятся к направленности излучения, чтобы подчеркнуть звуковой рельеф.

Все специалисты согласны с тем, что самая простая система, имеющая по два громкоговорителя на канал, лучше сложной системы с одним громкоговорителем в канале. Такая двойная система может иметь громкоговоритель с диффузором диаметром 30 *см* для низких частот и специальный громкоговоритель с диффузором диаметром 13 *см* для средних и высоких частот. Эта система не позволяет значительно расширить спектр реально передаваемых частот, но дает возможность значительно снизить различные формы искажений. Кроме того, высокие частоты лучше разделяются, когда они излучаются источником небольшого диаметра.

РАЗМЕЩЕНИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ В КОМНАТЕ

Выше было указано, что при записи звука микрофоны устанавливают так, чтобы угол восприятия был в пределах от 30 до 45°. Поэтому естественно, что при воспроизведении звука громкоговорители устанавливаются так, чтобы слушатель оказался в соответствующем положении.

С другой стороны, громкоговорители обоих каналов не следует слишком сближать, так как это может снизить, а то и совсем уничтожить стереофонический эффект. Считают, что группы громкоговорителей должны находиться одна от другой на расстоянии не менее 1,5 *м*. В этом случае слушатель должен находиться на медиане, проведенной через середину линии, соединяющей громкоговорители, на расстоянии, в полтора раза превышающем расстояние между громкоговорителями. Таким образом, при разносе громкоговорителей на 1,5 *м* идеальное удаление слушателя по медиане должно составлять 2,25 *м*. Угол слухового восприятия при этом будет равен 38° (рис. 43). В принципе выбирают расстояние, угол слухового восприятия при котором лежит в пределах от 35 до 45°. Как видно из рисунка, лучше размещать громкоговорители у короткой стены комнаты, чтобы было достаточно места для отхода от громкоговорителей. Если комната достаточно велика, то лучшие результаты даст разнос громкоговорителей на расстояние 2 *м* при удалении от них слушателя на расстояние 3 *м*.

Стереофонический эффект, к счастью, воспринимается не только в идеальной точке, показанной на рис. 43. Благодаря реверберации от стен комнаты и распределения акустической мощности громкоговорителями правильное восприятие звука наблюдается на некоторой

площади, которая бывает различна, в зависимости от расположения громкоговорителей. Если они параллельны стене, то получается относительно большая площадь стереофонического восприятия, изображенная на рис. 44. Это расположение громкоговорителей получило наибольшее распространение.

Если громкоговорители направлены на боковые стены комнаты (говорят, что громкоговорители перекрещиваются), то имеет место

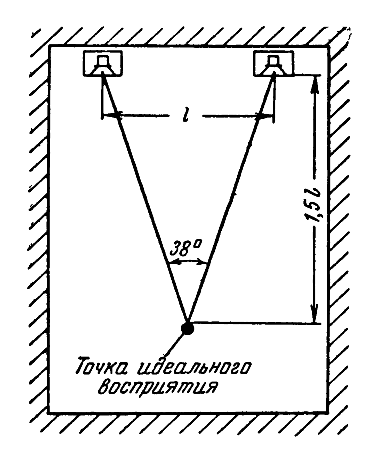


Рис. 43. Определение оптимального места для стереофонического восприятия.

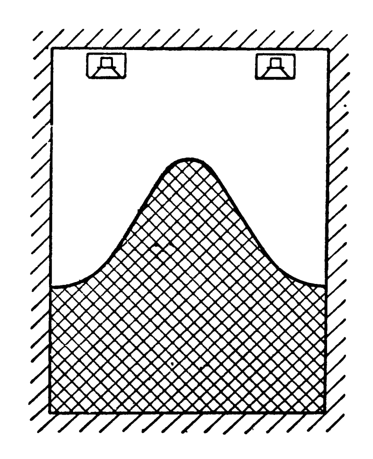


Рис. 44. Зона стереофонического восприятия в комнате при расположении громкоговорителей параллельно стене.

значительная реверберация от стен, зависящая от характера их покрытия, в результате чего площадь стереофонического восприятия снижается и принимает другую конфигурацию (рис. 45). В случае установки громкоговорителей в углах комнаты и направления их к ее центру площадь стереофонического восприятия сокращается до круга небольшого диаметра (рис. 46).

Все это необходимо учитывать, так как многие монофонические установки оснащены угловыми акустическими системами или даже угловыми акустическими колонками. Такие конструкции были оправданы хорошим распределением звуков по всей комнате благодаря участию ее стен, которые действовали наподобие большого рупора, хотя громкоговоритель непосредственно и не был соединен с ними. Благодаря этому достигалось равномерное усиление низких частот без неприятного резонанса.

Если принять такое расположение для стереофонии и установить вторую угловую акустическую систему, то следует помнить, что площадь действительно стереофонического восприятия окажется очень небольшой. Поэтому целесообразно изменить положение громкоговорителя или громкоговорителей для средних и высоких частот.

установив их параллельно короткой стене, и оставить без изменения положение громкоговорителя, предназначенного для воспроизведения низких частот (рис. 47). При таком расположении громкоговорителей площадь стереофонического восприятия будет сходна с изображен-

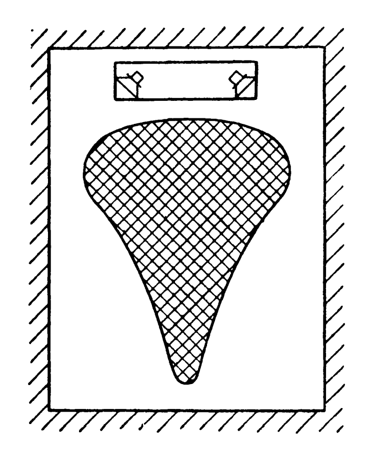


Рис. 45. Зона стереофонического восприятия в комнате, когда громкоговорители направлены в разные стороны.

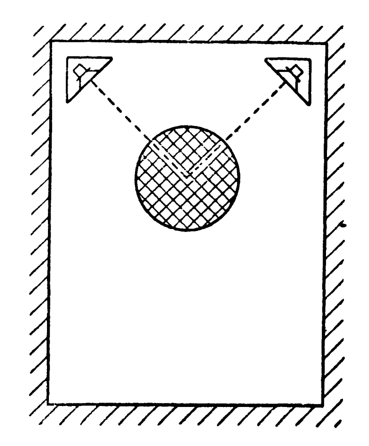
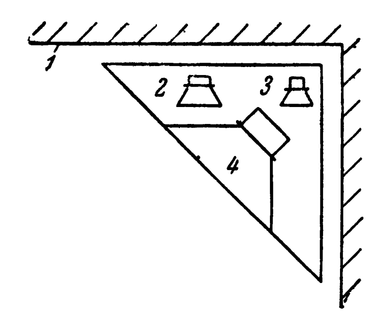


Рис. 46. Зона стереофонического восприятия в комнате, когда громкоговорители направлены в середину.



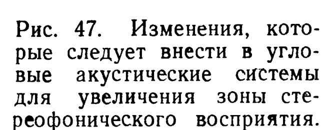


Рис. 47. Изменения, которые следует внести в угловые акустические системы для увеличения зоны стереофонического восприятия.

1 — короткая стена комнаты; *2* — громкоговоритель средних частот; *3* — то же высоких частот; *4* — то же низких частот

ной на рис. 44. Если нет возможности переделать акустическую систему, то можно извлечь громкоговоритель или громкоговорители, предназначенные для воспроизведения средних и высоких частот, поместить их в небольшой ящик и поставить его на акустическую систему. Этот ящик следует направить так, чтобы стереофонический эффект воспринимался на максимальной площади.

ФАЗИРОВАНИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Для получения хороших результатов совершенно необходимо, чтобы звуковые катушки всех громкоговорителей действовали в фазе, т. е. они должны быть включены так, чтобы, например, положительный импульс тока вызывал во всех громкоговорителях перемещение диффузора вперед.

Если при монофоническом воспроизведении установленные в одной акустической системе громкоговорители работают не в фазе, то на различных частотах возникает только неприятная акустическая интерференция. Если же в стереофонической аппаратуре громкоговорители каналов окажутся не в фазе, то нарушится разделение каналов. В частности, локализация средней точки между двумя громкоговорителями будет нечеткой и точная регулировка баланса станет невозможной. Кроме того, в этом случае будут ослаблены низкие частоты.

Синфазность громкоговорителей можно проверить с помощью демонстрационной грампластинки, на которой имеется запись метронома. При воспроизведении этой записи слушателю должно казаться, что звуки метронома исходят из точки, расположенной посредине между двумя громкоговорителями. Если громкоговорители включены в фазе, то отрегулировать баланс усилителей легко, а локализация средней точки получается весьма точная, даже если несколько отодвинуться от идеальной точки просушивания.

Для правильного включения громкоговорителей (в фазе) достаточно поменять местами провода, идущие к одному из них. Если в каждом канале имеется акустическая система с несколькими громкоговорителями, то нужно поменять местами провода, подводящие сигналы на всю систему.

РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ

Следует предусмотреть в установке два полных акустических канала, по которым передается весь спектр звуковых частот, т. е. два комплекта громкоговорителей, рассчитанных на воспроизведение низких, средних и высоких частот. Это решение дает наилучший результат, поэтому в стереофонии ему всегда следует отдавать предпочтение. Каналы должны быть разделены до конца акустической цепи. Такой способ без затруднений можно применить в аппаратуре среднего качества, акустические системы которой содержат по одному, а иногда по два громкоговорителя на канал. При этом если разнести слишком далеко громкоговорители обоих каналов, то создается впечатление «дыры в центре». Акустические системы для высококачественного воспроизведения всего спектра звуковых частот требуют по два или по три громкоговорителя на канал. Это приводит к созданию установок, которые трудно разместить в комнатах современных небольших квартир, а, кроме того, стоимость таких установок превышает материальные возможности большинства любителей.

Поэтому некоторые специалисты предлагают сделать смеситель каналов, чтобы уменьшить размеры акустических систем и снизить цену стереофонических установок. Так как стереофонический эффект воспринимается преимущественно на средних и высоких частотах, то оставляют два раздельных канала для этих частот, а низкие ча-

стоты от обоих каналов подают на один громкоговоритель, установленный в центре. Поэтому в установке имеется только одна большая и дорогая акустическая система и два маленьких «спутника», сделать которые не сложно.

Целесообразно рассмотреть каждую из этих систем в отдельности.

РАЗДЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ

Простые акустические системы, содержащие по одному громкоговорителю. В связи с тем, что имеется только один громкоговоритель, следует постараться передать с его помощью все низкие частоты. Средние и высокие частоты относительно легко передаются одним громкоговорителем среднего размера. Для воспроизведения низких частот громкоговоритель должен иметь достаточно большой диффузор с эластичной подвеской, но этого недостаточно. Его необходимо поместить в ящике соответствующих размеров или на плоском экране, чтобы предотвратить интерференцию между волнами, излучаемыми передней и задней сторонами диффузора. Для частот 30 *гц* плоский экран должен иметь диаметр 5 *м*, для частот выше 150 *гц* — 1 *м*. Из-за таких огромных размеров плоский экран не применяется.

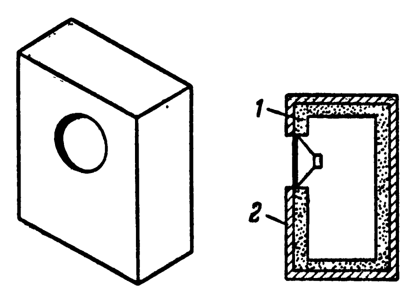


Рис. 48. Закрытая акустическая система или бесконечные отражатели.

1 — слой стеклянной ваты толщиной 5—10 *см*; *2* — доска толщиной 2—3 *см*.

Для воспроизведения низких частот разработаны акустические системы, имеющие значительно меньшие размеры.

Закрытые системы (рис. 48). Они полностью поглощают заднюю волну, поэтому такие системы уничтожают акустическое короткое замыкание (интерференцию волн). Ящик должен делаться из досок толщиной 2—3 *см*; внутри его следует выложить достаточно толстым слоем (5—10 *см*) звукопоглощающего материала. Ящик не должен вибрировать на самых низких частотах. Не должно также возникать паразитных резонансов на других частотах.

В табл. 1 приведены размеры ящика в зависимости от диаметра громкоговорителя. Настройка акустической системы осуществляется посредством изменения толщины звукопоглощающего материала и посредством крепления досок, образующих акустическую систему.

Открытые акустические системы или отражательные системы со щелями, лабиринтом, резонансной трубой. В этих акустических системах стремятся воспользоваться акустическим резонансом на низких частотах внутреннего объема ящика для повышения отдачи громкоговорителя. На резонансных частотах задняя волна в противофазе налагается на переднюю волну. Кроме того, собственная ре-

Таблица 1

Диаметр громкоговорителя, *см*	Диаметр отверстия ящика, *см*	Размеры ящика, *см*		
		высота	ширина	глубина
21	16,5	75	54	30
25	21,5	85	63	33
30	26,5	95	70	45
38	34	117	80	45

зонансная частота громкоговорителя ослабляется, что улучшает частотную характеристику системы.

Существует очень большое количество открытых акустических систем. Их изготавливают из досок или толстой фанеры (не менее 2—3 *см*) и выстилают внутри звукопоглощающим материалом. Однако в них нужно отрегулировать резонансную частоту на заданную величину; для этого изменяют размеры отверстий, внутренний объем и суммарный коэффициент поглощения системы (путем правильного распределения звукопоглощающего материала и его толщины).

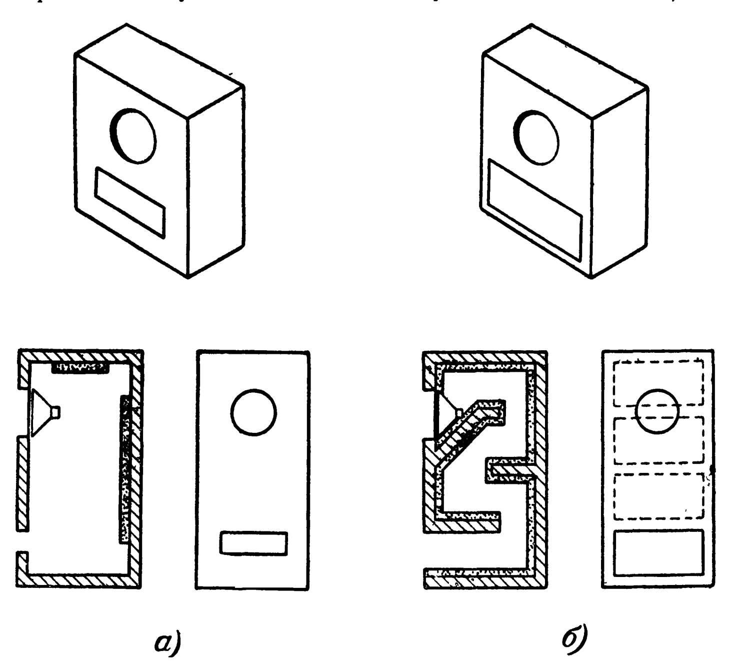


Рис. 49. Открытые акустические системы.

а — акустический инвертер; *б* — акустическая система с лабиринтом.

На рис. 49 в качестве примера показаны некоторые конструкции открытых акустических систем.

При изготовлении акустической системы стенки ящика необходимо скреплять винтами, а не сколачивать гвоздями; следует очень плотно прикреплять громкоговоритель к отверстию, чтобы избежать каких бы то ни было акустических утечек, которые могут сказаться на работе системы. Дерево акустической системы нужно защитить специальным составом от воздействия влаги.

Особого упоминания заслуживает акустическая система, изображенная на рис. 50. Громкоговоритель с помощью винтов крепят в небольшом прямоугольном или квадратном щите, служащем лишь для помещения громкоговорителя. Затем этот щит прикрепляют к передней стенке акустической системы с помощью четырех прокладок из дерева или пластмассы для того, чтобы между стенкой акустической системы оставалось расстояние 1—2 *см*. Это представляет собой особенность таких акустических систем. Сама акустическая система закрытая; она изготовляется из досок или фанеры толщиной 2—3 *см*. Внутри система местами выложена поглощающим материалом. Собственный резонанс громкоговорителя ослабляется. Объем системы представляет собой подходящую для низких частот акустическую нагрузку. Этот тип системы требует наименьшей регулировки и поэтому может быть рекомендован любителям. Единственная регулировка заключается в уменьшении или увеличении высоты прокладок, чтобы удалить или приблизить щит с громкоговорителем к передней стенке акустической системы.

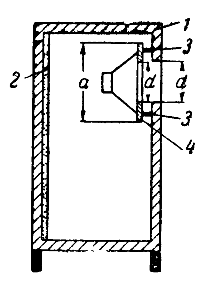


Рис. 50. Акустическая система фирмы «Рибе-Дежарден»

1 — доска толщиной 2—3 *см*; *2* — поглощающий материал; *3* — регулировочные прокладки; *4* — щит.

Размеры ящика должны иметь следующие соотношения: ширина должна составлять $^3/_5$ высоты и глубина $^2/_5$ высоты[1].

В табл. 2 приведены основные размеры акустической системы в зависимости от диаметра диффузора громкоговорителя.

Таблица 2

Диаметр громкоговорителя, *см*	Диаметр отверстия, *см*	Размеры щита *а×а, см*	Размеры акустической системы *В×Ш×Г, см*
21	16,5	30×30	75×45×30
25	21,5	35×35	87,5×52,5×35
30	26,5	40×40	100×60×40
38	34	50×50	125×75×50

[1] Более подробно с расчетом и изготовлением акустических систем можно ознакомиться в брошюре М. М. Эфрусси «Акустическое оформление громкоговорителей», Госэнергоиздат, 1962. (*Прим. ред.*)

Акустические системы с несколькими громкоговорителями. В настоящее время громкоговоритель большого диаметра используется в закрытой акустической системе или в открытой системе, специально рассчитанной для воспроизведения низких частот. Второй громкоговоритель меньшего диаметра воспроизводит только средние и высокие частоты. В еще более совершенных акустических системах имеется третий, еще меньший громкоговоритель для воспроизведения высоких частот. В связи с небольшой длиной волн, соответствующих этим частотам, конструирование акустических систем не вызывает трудностей.

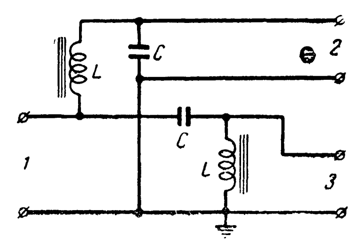


Рис. 51. Схема двухканального фильтра для громкоговорителей.

1 — к выходному трансформатору; *2* — к громкоговорителю низких частот; *3* — к громкоговорителю средних и высоких частот.

Известно, что щит диаметром 50 *см* легко передает частоты выше 350 *гц*. Закрытая акустическая система дает прекрасные результаты даже при еще меньших размерах. Громкоговорители могут размещаться в небольшом отсеке, смежном с акустической системой для низких частот, или в отдельном ящичке.

Поэтому нет необходимости возвращаться к описанию акустических систем, содержащемуся в предшествующем параграфе. Тем не менее следует предусмотреть фильтр, чтобы направить на каждый из громкоговорителей соответствующую ему полосу частот.

В табл. 3 приведены длины звуковых волн, соответствующие различным частотам.

Такой фильтр для двух громкоговорителей изображен на рис. 51. В зависимости от полного сопротивления звуковой катушки громкоговорителя, вторичной обмотки выходного трансформатора и частоты разделения получают значения *L* и *C*. Их значения приведены в табл. 4.

Таблица 3

Частота, *гц*	λ, *м*	Частота, *гц*	λ, *м*
20	17	2 000	0,17
30	11,2	3 000	0,11
40	8,5	4 000	0,085
50	6,8	5 000	0,068
60	5,6	6 000	0,056
100	3,4	8 000	0,042
200	1,7	10 000	0,034
400	0,85	12 000	0,028
500	0,68	15 000	0,023
800	0,42	20 000	0,017
1 000	0,34		

Таблица 1

Полное сопротивление громкоговорителя, *ом*	Частота разделения каналов, *гц*	*C*, *мкф*	*L*, *мгн*	Количество витков
15	150	44	23	173
	470	16	7,1	96
	620	12	5,4	84
	750	10	4,5	76
	940	8	3,55	68
	1 250	6	2,7	59
	1 880	4	1,8	48
	3 750	2	0,9	34
7,5	470	32	3,55	68
	620	24	2,7	59
	940	16	1,8	48
	1 880	8	0,9	34
5	500	24	2	50
	620	16	1,8	48
	940	10	1,2	40
	1 880	5	0,6	30
3,75	940	32	0,9	34
	1 250	24	0,67	30
	1 880	16	0,45	24
2,5	940	48	0,6	30
	1 250	32	0,45	24
	1 880	24	0,3	20

Для намотки катушек L применяют два горшочка из феррокскуба и медный провод диаметром 1,1 *мм* ПШД. Конденсаторы лучше брать металло-бумажные. При помощи таких фильтров можно получить коэффициент ослабления до 12 *дб* на октаву. Значения L и C в зависимости от полного сопротивления Z и частоты f определяются по следующим формулам:

$$L = \frac{Z}{\pi f \sqrt{2}},$$

$$C = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi f Z}.$$

При использовании указанных горшочков количество витков, требующееся для получения необходимой индуктивности, определяется примерно по следующей формуле:

$$36\sqrt{L}\ [мгн].$$

Размещение акустических систем обоих каналов в одном ящике. Для уменьшения места некоторые фирмы две акустические системы объединяют в одном ящике. Конструкция такой комбинированной системы приведена на рис. 52. Громкоговорители могут размещаться

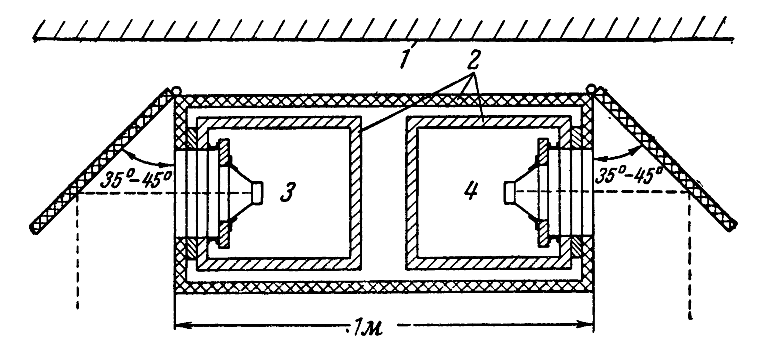


Рис. 52. Консоль, объединяющая акустические системы обоих каналов (вид в плане).

1 — стена комнаты; *2* — доски или фанера толщиной 2—3 *см*; *3* — левый канал; *4* — правый канал.

на передней стенке ящика, но тогда его размеры окажутся чрезмерно большими. Как уже упоминалось, для достижения хороших результатов громкоговорители нужно разнести на 1,5 *м*. Для увеличения этой базы при сохранении размеров ящика в разумных пределах громкоговорители устанавливают на его противоположных боковых стенках. Боковые дверцы на петлях слушатели устанавливают в таком положении, чтобы отражаемый ими звук направлялся в середину комнаты. Обычно их устанавливают под углом от 35 до 45°, некоторые рекомендуют угол 38°.

Площадь дверок достаточна для отражения средних и высоких частот, которые и создают стереофонический эффект. Низкие частоты мало отражаются дверцами. так как их размеры малы для звуков с большой длиной волны. Отражение низких частот и направление их в середину комнаты происходит от стен самой комнаты. На каждый из громкоговорителей поступает весь спектр передаваемых частот. Смешения каналов в этой системе нет.

Ящик состоит из двух закрытых или открытых акустических систем, расположенных обратной стороной друг к другу. Их стенки должны быть достаточно толстыми и прочно укреплены. Необходимо, чтобы вибрации акустической системы одного канала не могли влиять на работу акустической системы другого. В принципе конструкция не имеет общих стенок, т. е. ящик имеет собственные

стенки, не выполняющие назначения перегородок между акустическими стенами. Между стенками могут быть предусмотрены эластичные крепления. Дверцы делают из лакированной фанеры, чтобы коэффициент отражения был максимальным. Такие системы легче настраивать на заданную полосу частот.

Для устройства системы, показанной на рис. 52, можно взять конструкцию, приведенную на рис. 50. Две такие конструкции можно поместить в соответствующий общий ящик шириной 1 *м*; в нем устанавливают два громкоговорителя диаметром 25 *см*.

Когда дверцы полностью открыты, звуки отражаются от стен комнаты. Результат зависит от характера стен и их коэффициента поглощения. Такую радиомебель легко устанавливать в комнате; она украшает помещение, а ее звуковая отдача достаточна, хотя она и меньше отдачи двух больших акустических систем с несколькими громкоговорителями в каждой.

СОВМЕЩЕННЫЕ КАНАЛЫ

Средние и высокие частоты воспроизводятся раздельно, а низкие смешиваются. Такая система схематически показана на рис. 53. Ее также называют «системой со спутниками», так как два громкоговорителя для средних и высоких частот рассматриваются как спут-

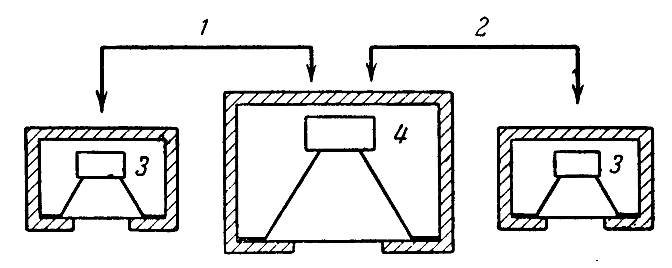


Рис. 53. Принципиальная схема смешения низких частот обоих каналов.

1 — левый канал; *2* — правый канал; *3* — средние и высокие частоты; *4* — низкие частоты обоих каналов

ники акустической системы для низких частот. Известно, что стереофонический эффект создается средними и высокими частотами, и поэтому смешение низких частот не может отрицательно влиять на качество всей системы.

Ухо воспринимает поступающие из середины низкие частоты и объединяет их со средними и высокими частотами спутников, расположенных по обе стороны, в результате чего возникает эффект полной стереофонии.

Такое рассуждение справедливо при условии, что была выбрана достаточно низкая частота разделения каналов. Для создания полного стереофонического эффекта частоту разделения нужно выбирать равной 150 *гц*. При выборе более высокой частоты разделения (200 или 400 *гц*) теряется объемность звучания

Выбор такой низкой частоты разделения каналов заставляет делать спутники довольно внушительных размеров, так как их акустическая система должна позволять воспроизводить частоты до 150 *гц*. Общий громкоговоритель для низких частот должен иметь хорошо подвешенный и достаточно тяжелый диффузор, чтобы его резонансная частота была как можно ниже (около 20 *гц*). Он должен достаточно хорошо воспроизводить полосу частот от 30 до 150 *гц*. Поэтому акустическая система должна иметь большие размеры и толстые стенки, чтобы они не вибрировали, и внутри должна быть обита толстым слоем звукопоглощающего материала.

На громкоговоритель необходимо подавать значительную энергию, чтобы колебания диффузора имели амплитуду, достаточную для хорошей отдачи. Наибольшая сложность заключается в разработке схемы смешения двух каналов, так как при этом нельзя повышать проникание между каналами, рассогласовывать полные сопротивления и повышать искажения. Такая система, несмотря на все ее положительные качества, обходится дорого и поэтому используется довольно редко.

Существует более простая аппаратура со спутниками, имеющая частоту разделения каналов около 400 *гц*. Громкоговоритель для низких частот воспроизводит полосу частот от 100 до 400 *гц*, поэтому объем его акустической системы не очень большой. Спутники представляют собой громкоговорители малых размеров (диаметром 13 *см* или эллиптические 12×19 *см*) в очень простых ящиках. Такое экономичное устройство доступно многим слушателям, но оно не может претендовать ни на высокое качество воспроизведения, ни на полный стереофонический эффект.

Сделаны попытки уменьшить габариты установки путем объединения всех громкоговорителей в одном ящике. На рис. 54 показана схема общей акустической системы, рассчитанной на установку в углу комнаты. Она состоит из расположенных друг над другом на передней стенке двух громкоговорителей, воспроизводящих низкие частоты обоих каналов, и двух громкоговорителей, смонтированных на боковых стенках, рассчитанных на раздельное воспроизведение средних и высоких частот каждого из каналов.

Учитывая, что большинству электрических смесительных схем присущи серьезные недостатки, в данном случае предпочли использовать для воспроизведения низких частот два громкоговорителя (каждый соединен только с одним каналом), помещенные в одной акустической системе. В результате этого получается не электрическое, а акустическое смешение низких частот обоих каналов. Стены комнаты отражают средние и высокие частоты обоих каналов в середину комнаты.

Электрическая схема такой акустической системы очень простая: в каждом канале имеется фильтр, состоящий из катушки индуктивности и конденсатора. Этот фильтр менее эффективен, чем фильтр, изображенный на рис. 51, а, кроме того, его частота разделения слишком высока (около 800 *гц*). Переменные сопротивления (10 *ом*) позволяют отрегулировать мощность громкоговорителей низких частот так, чтобы получить удовлетворительное акустическое разделение. Диффузоры громкоговорителей для воспроизведения низких частот имеют диаметр 30 *см*, а для воспроизведения средних и высоких частот применены эллиптические громкоговорители (15×

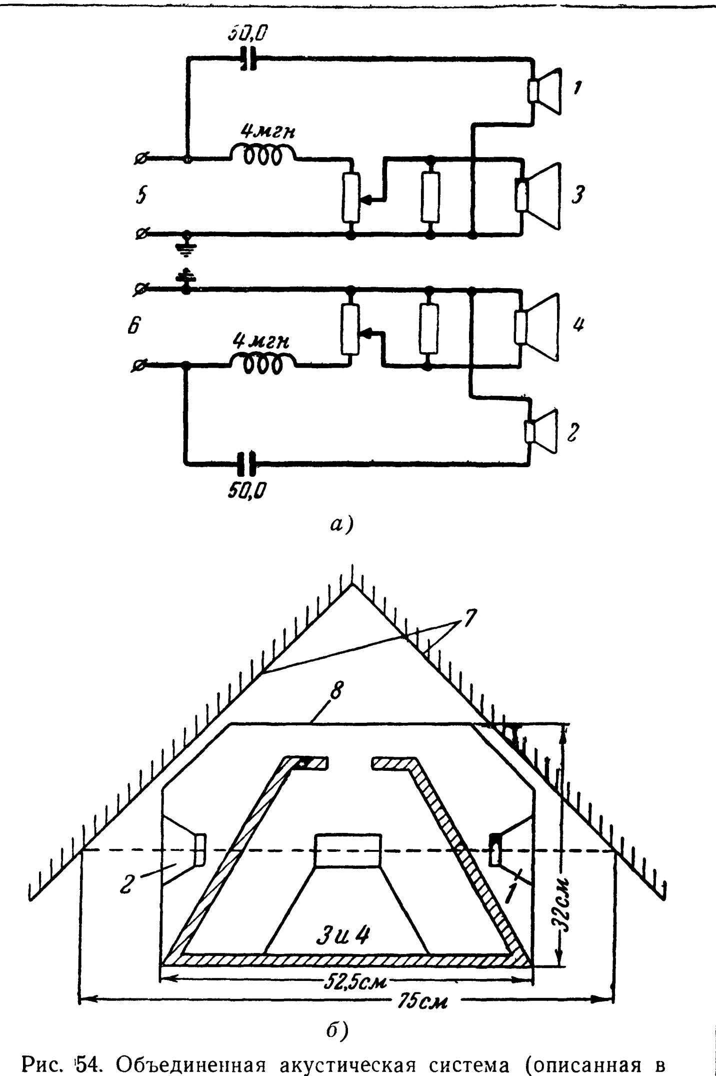


Рис. 54. Объединенная акустическая система (описанная в журнале «Аудио», январь 1959 г.).

а — электрическая схема; *б* — акустическая система (*1* — громкоговоритель для средних и высоких частот правого канала; *2* — то же левого канала; *3* — громкоговоритель для низких частот правого канала; *4* — то же для левого канала; *5*, *6* — к выходным трансформаторам правого и левого каналов; *7* — стены комнаты; *8* — акустическая система).

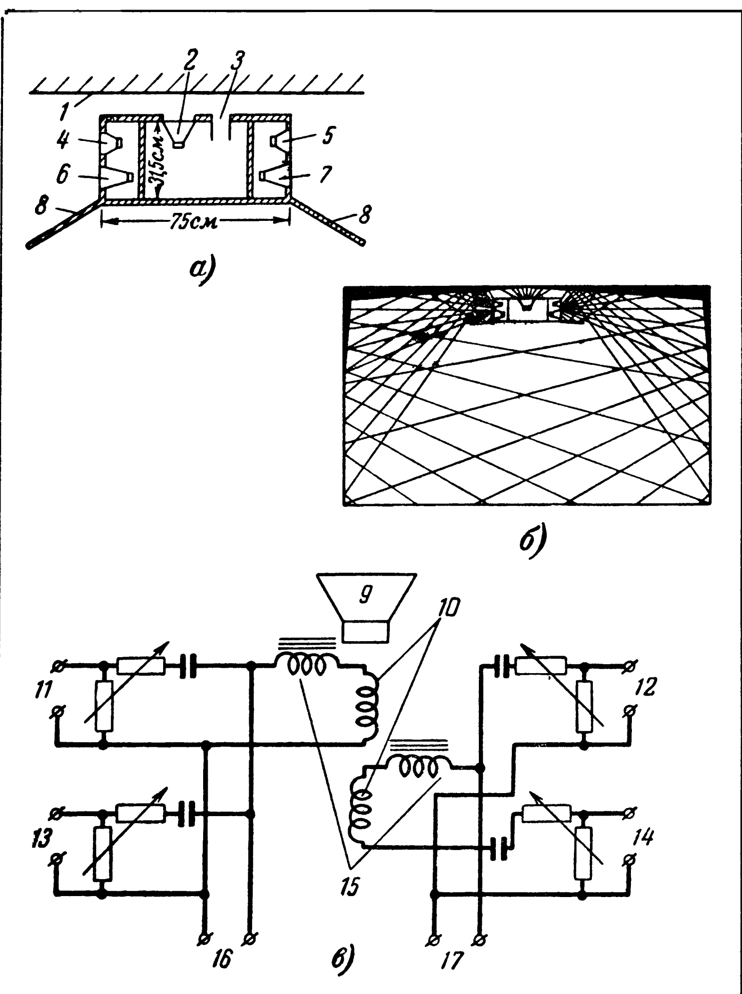


Рис. 55. Объединенная акустическая система фирмы «Университи».

а — конструкция; *б* — акустическое распределение каналов, *в* — электрическая схема (*1* — стена; *2* — громкоговоритель низких частот обоих каналов; *3* — щель; *4*, *5* — громкоговорители средних частот правого и левого каналов; *6*, *7* — то же высоких частот, *8* — подвижные створки-отражатели; *9* — громкоговоритель низких частот; *10* — звуковые катушки; *11*, *12* — громкоговорители высоких частот правого и левого каналов, *13*, *14* — то же средних частот; *15* — фильтр, пропускающий низкие частоты; *16* — к выходному трансформатору левого канала, *17* — то же правого канала)

×10 *см*). Изготовление акустической системы не требует особых пояснений.

Другая конструкция объединенной установки приведена на рис. 55, *а*. Она состоит из громкоговорителя низких частот, обращенного к стене комнаты, и громкоговорителей средних и высоких частот, расположенных на боковых стенках установки. Подвижные створки-отражатели направлены в обратную сторону по сравнению с установкой, описанной в предыдущем параграфе Такое располо-

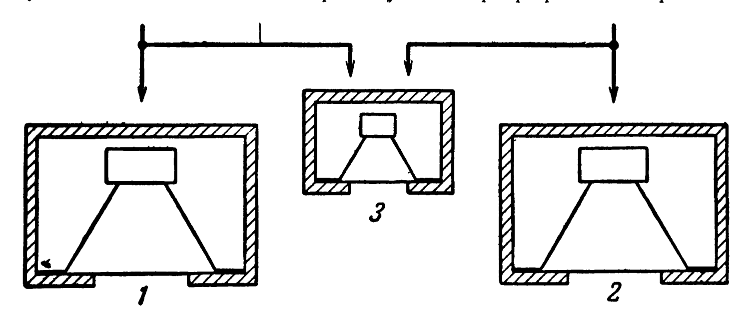


Рис. 56. Акустическая система с третьим каналом.

1, *2* — левый и правый каналы (весь спектр частот); *3* — третий канал (смесь всего спектра или только средних и высоких частот левого и правого каналов).

жение создает условия для отражения акустических волн от находящейся за установкой стены. В зависимости от характеристик стены отдача системы изменяется в широких пределах. Для получения приведенного на рис. 55, *б* акустического распределения стена должна обладать достаточным отражением. Устанавливая в соответствующее положение отражающие створки, можно получить удовлетворительный стереофонический эффект для любого места комнаты.

Электрическая схема установки изображена на рис. 55, *в*. Она имеет важную особенность. Громкоговоритель низких частот имеет две звуковые катушки и получает сигналы от обоих каналов, хотя между ними и нет электрической связи. Здесь не может быть искажений проникания между каналами. Частота разделения равна 150 *гц*, что благоприятно сказывается на работе системы. Громкоговоритель низких частот излучает назад, благодаря чему создается некоторая задержка низких частот по отношению к средним и высоким. Это также улучшает акустические качества установки. Для воспроизведения средних частот (150—3 000 *гц*) применены высококачественные электродинамические громкоговорители. Высокие частоты (3 000—15 000 *гц*) воспроизводятся двумя специальными рупорными громкоговорителями. Мощность, отдаваемая громкоговорителями на средних и высоких частотах, регулируется фильтрами с переменными сопротивлениями. С точки зрения акустики консоль должна быть выполнена безупречно.

Практические разультаты воспроизведения этой высококачественной установки зависят от характера стены, у которой она поставлена.

Третий канал усиления. «Дыра в середине». При увеличении расстояния между громкоговорителями двух каналов у слушателя может возникнуть впечатление появления «дыры в середине». Для устранения этого недостатка вводят третий канал усиления, представляющий собой смешение сигналов от обоих каналов и подачу их на громкоговоритель, установленный между громкоговорителями основных каналов. Этот громкоговоритель воспроизводит весь спектр звуковых частот, а иногда только средние и высокие частоты. Блок-схема этой системы приведена на рис. 56. По принципу действия это устройство отличается от устройства, описанного в предыдущем параграфе.

Громкоговоритель третьего канала и его акустическая система более экономичны, чем акустические системы двух основных каналов. Их подбор или изготовление не вызывают трудностей. Единственная сложность заключается в выборе смесительной схемы.

РАЗЛИЧНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ СМЕШЕНИЯ НИЗКИХ ЧАСТОТ ИЛИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕТЬЕГО КАНАЛА

Смешение до усиления по мощности. В схеме на рис. 57 стереофонический звукосниматель соединен со специальным предварительным усилителем, имеющим, кроме обычных органов управления, еще фильтры, разделяющие каналы. Полученные таким способом сигналы подаются на три самостоятельных усилителя, выходы которых соединены с соответствующими громкоговорителями.

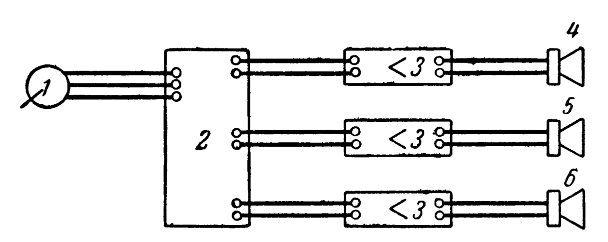


Рис. 57. Блок-схема смешения.

1 — звукосниматель; *2* — предварительный усилитель с регуляторами и фильтрами; *3* — усилители мощности; *4*, *5*, *6* — громкоговорители правого, смешанного и левого каналов.

Для смешения низких частот применяется схема, изображенная на рис. 58. Усилители средних и высоких частот обоих каналов имеют мощность по 3—4 *вт*. Они питают громкоговорители небольшого размера. Усилитель для смешения низких частот имеет мощность 20 *вт*. Это объясняется тем, что для воспроизведения частот ниже 250 *гц* требуется значительно бо́льшая мощность, чем для получения такого же акустического уровня на средних частотах. Разделение частот осуществляется с помощью обычных фильтров нижних и верхних частот. Величина элементов индуктивностей и емкостей фильтров зависит от полного сопротивления цепи в предвари-

тельном усилителе, в которую включена эта схема. Эти фильтры включают между анодом лампы и шасси или между катодом и шасси, с тем чтобы разделению подвергались сигналы со средним уровнем. Эта схема вносит мало искажений и малое проникание между каналами.

Другая схема смешения (рис. 59) представляет интерес тем, что смешение осуществляется *RC*-цепями, включенными между электродами ламп.

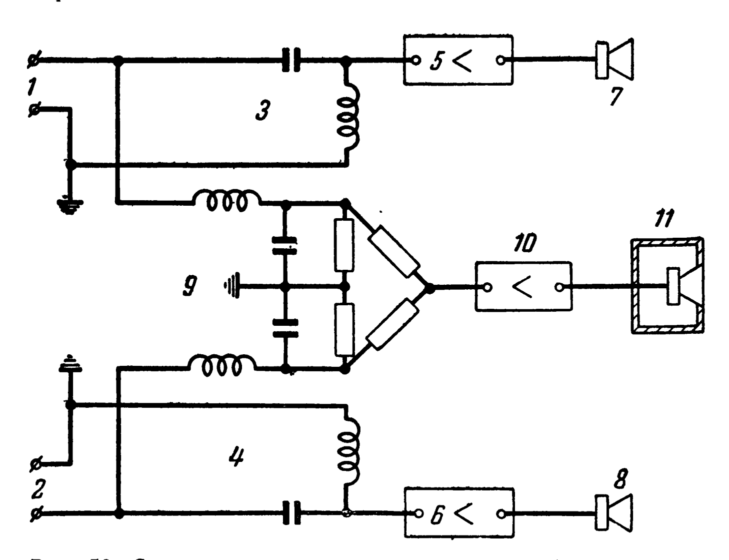


Рис. 58. Смешение низких частот с помощью фильтра перед усилением мощности

1, 2 — правый и левый каналы; *3, 4* — фильтры, пропускающие частоты выше 250 *гц*; *5, 6* — усилители по 3—4 *вт* правого и левого каналов; *7, 8* — громкоговорители для средних и высоких частот правого и левого каналов; *9* — фильтр, пропускающий частоты ниже 250 *гц*; *10* — общий усилитель низких частот мощностью 20 *вт*; *11* — громкоговоритель низких частот.

Сигналы каждого из каналов поступают на сетку каждого из триодов лампы 12АХ7. Снимаемый с анода сигнал подается на усилители через небольшой конденсатор (750 *пф*), срезающий низкие частоты. Таким образом, средние и высокие частоты каждого из двух каналов направляются на соответствующие усилители. Смешение обоих каналов осуществляется на анодах лампы 12АХ7. Фильтр низких частот, образованный сопротивлением 220 *ком* и конденсаторами 3 000 *пф*, срезает высокие частоты и пропускает на сетку лампы ЕС92 только низкие частоты. Чтобы не было сдвига фаз между сигналами каналов, низкие частоты смешиваются на сетке лампы катодного повторителя ЕС92, а общий низкочастотный сигнал снимается с сопротивления в ее катоде. Все три катода ламп не развязаны для получения обратной связи по току, способствующей луч-

шей передаче низких частот. Для лучшего прохождения самых высоких частот в цепях анодов ламп нет никаких развязок. Сдвиг по фазе между выходами этой схемы невелик. Отсутствие индуктивности исключает возможность появления низкочастотных наводок. Можно изменять частоту разделения каналов изменением емкости конденсаторов связи и фильтра. Крутизна разделения частот в этой схеме меньшая, чем в схемах с применением индуктивных фильтров с большим коэффициентом добротности.

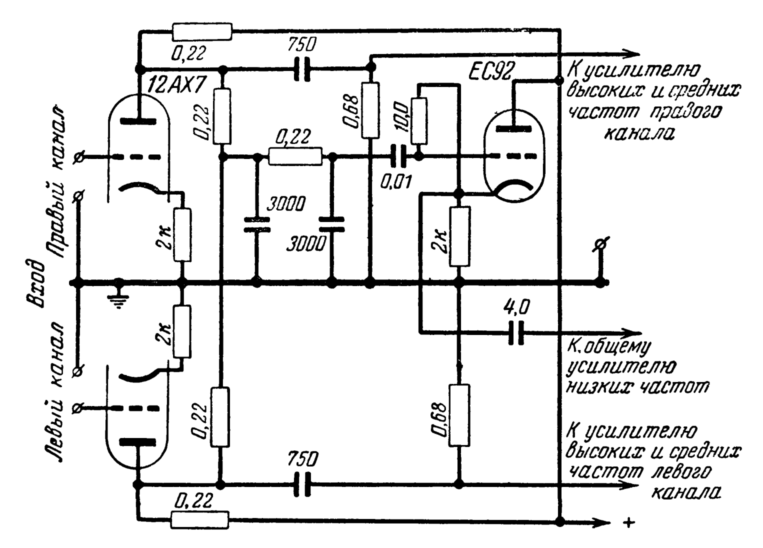


Рис. 59. Схема смешения низких частот с помощью лампы.

Смешение после усиления по мощности. Такое смешение происходит между вторичными обмотками выходных трансформаторов и звуковыми катушками громкоговорителей. Следовательно, приходится работать с цепями, имеющими малое общее сопротивление, по которым проходит значительная мощность.

Существует большое количество схем, многие из которых увеличивают проникание между каналами и вносят искажения. Необходимо, чтобы сигналы каналов складывались, а не вычитались одни из других. Главное значение в этом случае приобретает фаза сигналов.

Рассмотрим одну из наиболее интересных схем, известную в США под названием «стерео-плюс» (рис. 60). Заземление одного из каналов подключено не к концу вторичной обмотки выходного трансформатора, а к промежуточному выводу. Таким образом получают сигнал с обратной фазой по сравнению с обычным включением, что позволяет получить на третьем громкоговорителе сумму двух сигналов. Если отрицательная обратная связь обоих усилителей взята от вторичной обмотки выходного трансформатора, то такая схема вно-

сит изменение в коэффициент обратной связи и может превратить ее в положительную. Это следует иметь в виду, чтобы внести соответствующие изменения в цепь обратной связи.

Схема на рис. 61 представляет собою вариант предшествующей. Промежуточный вывод каждого из трансформаторов соединен с шасси. Следовательно, выходы обоих каналов симметричны по отношению к земле. Выбирают фазу сигнала, который дает на третьем

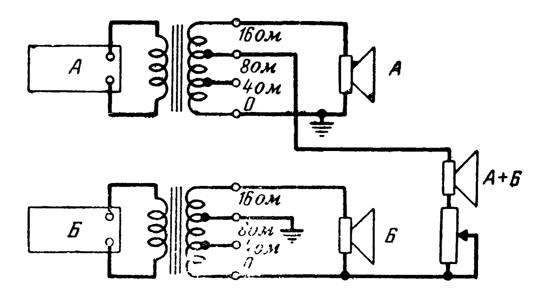


Рис. 60. Смешение после усиления по мощности.

А — правый канал; *Б* — левый канал

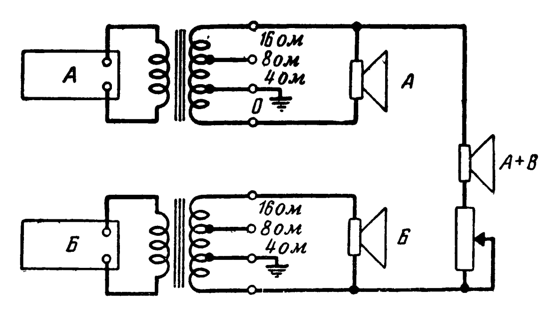


Рис. 61. Вариант схемы смешения, приведенной на рис. 60.

А — правый канал; *Б* — левый канал.

громкоговорителе сумму обоих каналов. Здесь также надо следить за цепью обратной связи усилителей, если она взята от вторичной обмотки выходного трансформатора. Величина проволочного переменного сопротивления должна в 5—10 раз превышать полное сопротивление звуковой катушки. Это сопротивление позволяет регулировать мощность громкоговорителя третьего канала по отношению к мощности двух других.

Обе эти схемы передают на третий громкоговоритель весь спектр звуковых частот. Из соображений экономии для третьего канала можно использовать громкоговоритель меньшего диаметра и установить его в упрощенной акустической системе.

На рис. 62 изображена еще одна смесительная схема. Здесь для смешения сигналов применен дополнительный трансформатор. Громкоговорители правого и левого каналов благодаря последовательно включенному конденсатору *С* воспроизводят лишь средние и высокие частоты соответствующих каналов. Разделение каналов осуществлено на частоте около 400 *гц*.

Дополнительный трансформатор осуществляет смешение сигналов от обоих каналов, сохраняя при этом их электрическую изо-

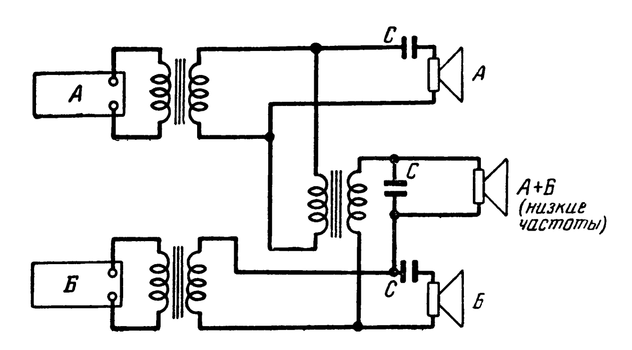


Рис. 62. Смешение с помощью дополнительного трансформатора для третьего канала (G. A. Briggs).

При $Z=150$ *ом* $C=15$ *мкф*; при $Z=7{,}5$ *ом* $C=60$ *мкф*.

ляцию. Путем включения обмоток в соответствующей полярности достигают правильного фазирования, чтобы получить действительно сумму обоих каналов. Коэффициент трансформации 1 : 1, а полное сопротивление обмоток равно полному сопротивлению звуковых катушек. Обе обмотки дополнительного трансформатора размещены рядом на сердечнике сечением 6,25 *см*^{2}; каждая из них состоит из 200 витков провода ПЭ 1,2 *мм*.

Вариант этой схемы изображен на рис. 63. В ней предусматривается создание третьего канала для компенсации «дыры в середине». На громкоговорители правого и левого каналов подается весь спектр звуковых частот. Громкоговоритель же третьего канала получает лишь смешанные средние и высокие частоты обоих каналов. Смешение происходит при помощи такого же трансформатора, что и в предыдущей схеме. Конденсатор *С* срезает низкие частоты. Аттенюатор *Ат* позволяет регулировать громкость третьего канала, не нарушая равновесия полных сопротивлений обмоток.

Частота разделения этой схемы равна 400 *гц*; для полного сопротивления звуковой катушки среднего громкоговорителя 15 *ом* емкость конденсатора *С* должна равняться 30 *мкф*, для 8 *ом* — 60 *мкф*, для 3,5 *ом* — 120 *мкф*.

Наконец, на рис. 64 показана очень простая схема для тех, кто хочет попробовать стереофонию, не производя затрат на вторую акустическую систему, рассчитанную на воспроизведение всего спектра звуковых частот. Весь спектр звуковых частот канала *А* смешивается с низкими частотами канала *Б* и направляется в стоя-

щую справа высококачественную акустическую систему. Разделение каналов, как и раньше, осуществляется с помощью дополнительного трансформатора. Результаты применения такой схемы вполне приемлемы, но тем не менее не столь хороши, как с двумя акустическими системами, воспроизводящими весь звуковой спектр.

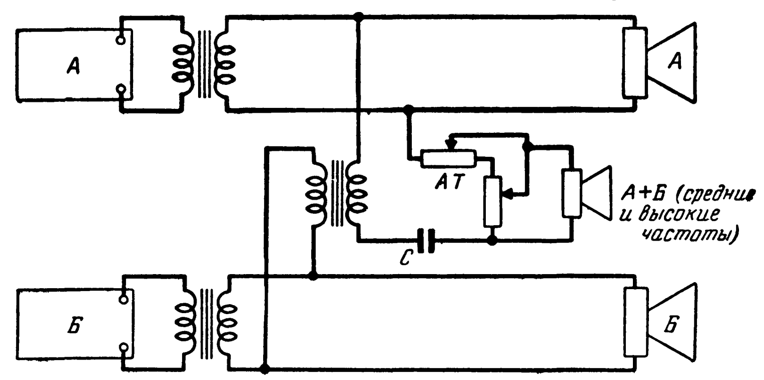


Рис. 63. Смешение с помощью дополнительного трансформатора для третьего канала.

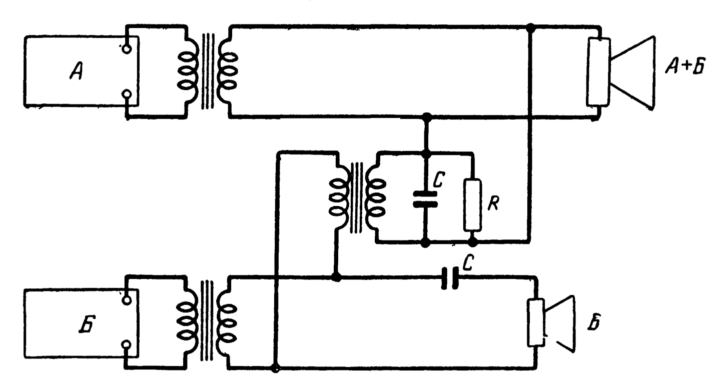


Рис. 64. Упрощенная схема смешения каналов.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЕ РАДИОВЕЩАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Большое распространение стереофонических грампластинок и аппаратуры стереофонического воспроизведения звука пробудили интерес и к стереофоническому радиовещанию.

В настоящее время различают три системы, заслуживающие определения «стереофоническая».

1. Системы, именуемые истинно стереофоническими, передающие из студии в помещение приема две полные информации. Такие системы требуют двух микрофонов (или двух групп микрофонов), двух идентичных линий передачи и двух громкоговорителей (или двух групп громкоговорителей), т. е. нужно иметь два одинаковых канала. Эта система, принятая в настоящее время для экспериментов, требует двух передатчиков и двух приемников (рис. 65).

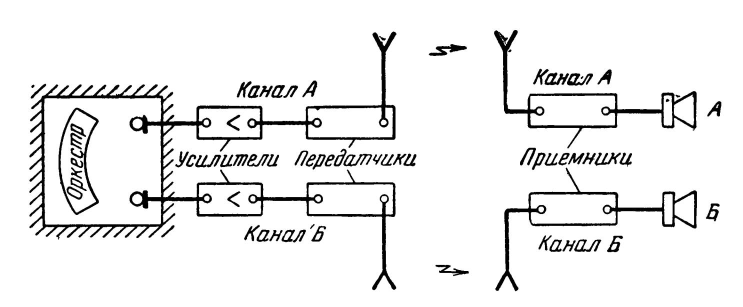


Рис. 65. Блок-схема «истинной стереофонической» радиовещательной передачи.

2. Системы кодированной стереофонии. При этих системах из студии в помещение приема передают две информации, из которых одна может быть сведена до очень простого сигнала направления, требующего для своей передачи более узкой полосы по сравнению с нормальной информацией. Эти системы также имеют два канала передачи с двумя группами микрофонов и двумя громкоговорителями. Однако эти каналы по своему характеру различны: тот, по которому передается система кодирования, менее сложен и менее дорог, чем другой.

Для этих систем требуются только один передатчик и один приемник с двумя каналами низкой частоты. Аппаратура оснащается кодирующим устройством на передаче и декодирующим — на приеме. Однако необходимо, чтобы эти системы были «совместимы», т. е. чтобы обычный радиоприемник без декодирующего устройства мог воспроизвести полную монофоническую информацию. Эти системы, в настоящее время находящиеся в состоянии разработки, будут приняты для широкого внедрения стереофонических передач. Они соответствуют принципу, изображенному на рис. 66.

3. Системы, именуемые псевдостереофоническими. При использовании этих систем в студии сигнал воспринимается группой микрофонов и направляется в одну линию, а на приеме по заранее установленному закону разделяется между двумя громкоговорителями. Таким образом, искусственно создается эффект, который в ряде случаев приближается к настоящему стереофоническому эффекту. Эксперименты с этими системами проводились во Франции в 1949 г., но применения не получили.

Легко понять, что системы «настоящей стереофонии» не могут получить широкого распространения, так как для их осуществления требуются два передатчика и два приемника. Это решение снизило бы количество передаваемых программ или потребовало бы строительства новых радиостанций, что невозможно вследствие загруженности радиовещательного диапазона. Оно потребовало бы также приобретения двух полных приемников, что слишком обременительно для радиослушателя.

Будущее в области стереофонического радиовещания принадлежит системам «кодированной стереофонии».

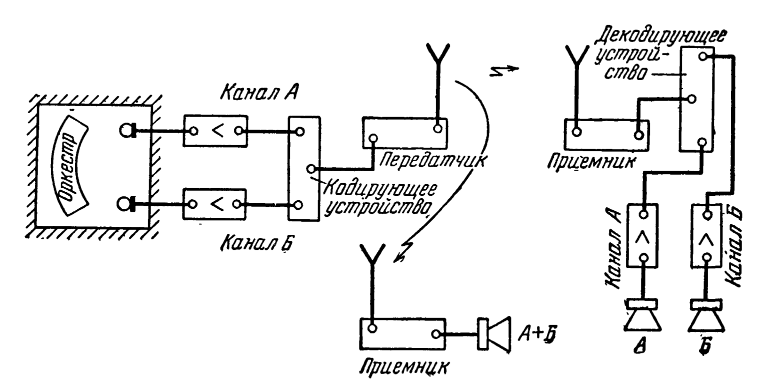


Рис. 66. Блок-схема «кодированной» стереофонической радиовещательной передачи.

СИСТЕМЫ «КОДИРОВАННОЙ СТЕРЕОФОНИИ»

Предлагалось большое количество систем кодированной стереофонии, но признание могла получить только совместная система. Под «совместностью» следует понимать возможность монофонического приема стереофонической передачи на обычный приемник и стереофонического приема на специальный приемник, разработанный для этой цели. Некоторые из предложенных систем ориентируются на передачи с амплитудной модуляцией, другие — на передачи с частотной модуляцией. Загруженность радиовещательного диапазона, предназначенного для передач с амплитудной модуляцией, и необходимость обеспечить стереофоническим программам высокое качество звучания заставили исследователей направить свои усилия на системы передач с частотной модуляцией в диапазоне ультракоротких волн (87,5—100 *Мгц*).

В основе различных предложенных систем лежит принцип «сумма — разность». В связи с необходимостью иметь «совместимую» систему нужно обычно передавать полный сигнал: «левый + правый». Владельцы обычных радиоприемников будут принимать сумму сигналов левого и правого каналов (*Л* + *П*). При передаче добавляют второй сигнал, представляющий собой разность этих сигналов (*Л* — *П*), наложенную на ультразвуковую частоту (16—

100 *кгц*), получившую назвние поднесущей, которая модулирует несущую частоту передатчика. Обычный радиоприемник не может детектировать этот второй сигнал, модуляция которого выходит за пределы обычной полосы низких частот. Стереофонический же приемник, оснащенный специальным детектором, детектирует поднесущую частоту и поэтому может воспроизвести оба сигнала (*Л+П* и *Л—П*).

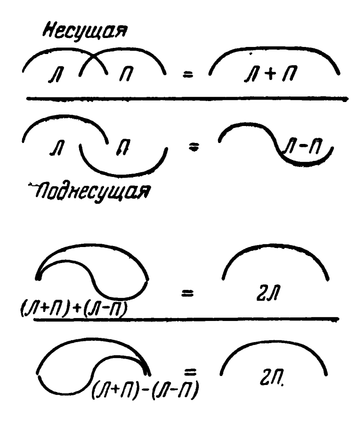


Рис. 67. Графическое пояснение суммарно-разностного метода.

Складывая, а затем вычитая алгебраически эти два сигнала, получают:

$(Л+П)+(Л-П)=Л+П+Л-$
$-П=2Л$ (левый канал),
$(Л+П)-(Л-П)=Л+П-$
$-Л+П=2П$ (правый канал).

Таким образом получают две стереофонические модуляции, которые остается только направить на соответствующие усилители.

На рис. 67 приведено графическое объяснение сложения и вычитания двух сигналов.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ, РАССМАТРИВАВШИХСЯ В КОМИТЕТЕ NSCR

Здесь описываются только системы для передач с частотной модуляцией. Во всех этих системах, за исключением одной, передается сложный сигнал, представляющий собой сумму сигналов (*Л+П*) для модуляции несущей частоты. Этот сигнал совместим, так как он содержит всю информацию, которую монофонический приемник обычно получает от современных передач. Стереофоническое радиовещание передается с помощью следующих методов модуляции поднесущей:

с частотной модуляцией, получившей название ЧМ—ЧМ;

с амплитудной модуляцией, получившей название ЧМ—АМ;

с мультиплексом, который эквивалентен системе ЧМ—АМ с подавлением несущей.

Во всех этих системах модулированная поднесущая прибавляется к сигналу *Л+П* и этим сложным сигналом модулируется ЧМ-передатчик.

Системы ЧМ—ЧМ. В системе «Персиваль» имеется управляющий сигнал $\frac{Л'}{Л'+П'}$, направляющий информацию *Л+П* на левый и правый громкоговорители в зависимости от изменений управляющего сигнала в пределах от 0 до 1. По утверждению фирмы «ЭМИ» этот сигнал требует полосы всего лишь в 100 *гц*. Им модулируют по частоте поднесущую частоту 16 *кгц* с девиацией от 100 до 500 *гц*.

Преимущество этой системы заключается в экономии полосы пропускания, что позволяет осуществлять модуляцию главного совместимого сигнала в предельно широкой полосе. Однако складывается впечатление, что схема приемника сложная и недостаточно надежная.

В системе Колбест вместо полного сигнала (*Л—П*) передается сигнал (*—П*) Ширина полосы этого сигнала ограничена 3,5 *кгц*. Им модулируют поднесущую частоту 27 *кгц* с девиацией 5 *кгц*. Ширина полосы этого сигнала ограничена для предотвращения интерференции между двумя каналами. Кроме того, интерференция сильно затруднила бы «матрицирование» сигналов *Л—П* и *Л+П* с помощью передаваемых информаций *Л+П* и *—П*.

В системе Кросби передается сигнал *Л—П* полностью (полоса 15 *кгц*). Им модулируется поднесущая частота 40 *кгц* с девиацией 25 *кгц*. Здесь не стремились ограничить полосу пропускания передатчика, поэтому система дает стереофоническую передачу лучшего качества.

В системе Холстед передается сигнал 2*Л—П* с полосой пропускания 15 *кгц*, как у основного совместимого сигнала. Поднесущая частота 41 *кгц* модулируется сигналом 2*П—Л*. Эта система ухудшает совместимость, так как слушатель получает информацию не полностью.

Системы ЧМ—АМ. Все эти системы передают сигнал *Л—П* со всей полосой звуковых частот с помощью поднесущей, модулируемой по амплитуде. Модулированная по амплитуде поднесущая накладывается на основной совместимый сигнал *Л+П*, а затем весь сложный сигнал используется для модуляции передатчика по частоте.

Системы различаются следующими особенностями.

В разработке «Джэнерал Электрик» основной сигнал *Л+П* модулирует передатчик по частоте с максимальной девиацией 45%. Поднесущая 37,5 *кгц* имеет амплитуду 33% от максимальной. Она модулируется до 100% сигналом *Л—П*. При этом передаются обе боковые полосы. Преимущество системы заключается в ее прекрасной совместимости, простоте и дешевизне декодирующего устройства.

В разработке фирмы «Зенит» стереофонический сигнал *Л—П* передается с помощью амплитудной модуляции поднесущей, подавляемой практически до 10% ее нормального значения. Обе боковые полосы и основная полоса поднесущей, так же как основной сигнал *Л+П*, используются для модуляции частоты передатчика.

Эта система дает несколько лучшие результаты как при монофоническом, так и при стереофоническом приеме, но требует приемника более сложного, чем в случае использования системы фирмы «Джэнерал Электрик».

Системы Мультиплекс. Системы Мультиплекс поочередно коммутируют сигналы *Л* и *П* на частотах от 20 до 100 *кгц*. Результирующая коммутации соответствует сумме *Л+П* и представляет собой совместимый сигнал. Сигнал *Л—П* модулирует по амплитуде подавленную поднесущую, частота которой равна частоте коммутации. Эти системы требуют применения довольно сложных декодирующих схем.

* *
*

В продаже, преимущественно в ФРГ, появляются приемники, рассчитанные на подключение декодирующего устройства, сделанного по системе, которая будет впоследствии принята. Блок-схема таких установок показана на рис. 68. В установке имеются: приемник, обеспечивающий прием передач с амплитудной модуляцией в диапазонах ДВ, СВ и КВ (в приемнике отведено место для последующего подключения декодирующего устройства);

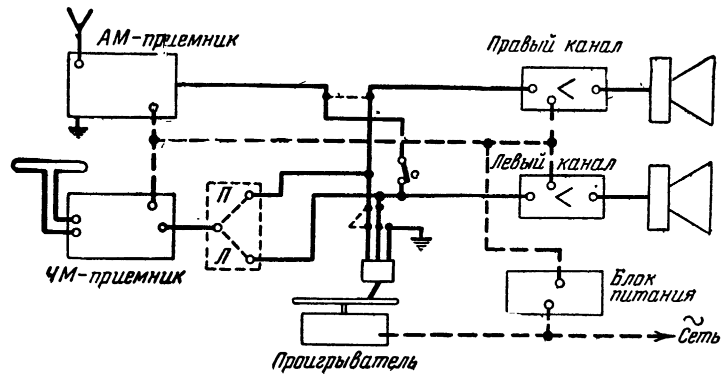


Рис. 68. Блок-схема стереофонической установки.

приемник для приема передач с частотной модуляцией;

два усилителя низкой частоты и два громкоговорителя или две группы громкоговорителей для левого и правого каналов;

блок питания для различных блоков устройства;

проигрыватель со стереофоническим звукоснимателем;

клавишный переключатель для соединения различных блоков между собой.

Все блоки приемника обычно монтируются в одном ящике. Такой приемник уже сейчас позволяет воспроизводить стереофонические грампластинки и магнитные ленты, записанные на стереофоническом магнитофоне. Когда система стереофонического радиовещания будет принята, достаточно установить декодирующее устройство, чтобы принимать стереофонические передачи.

Во время печатания настоящей книги было получено сообщение, что Федеральная комиссия связи США приняла систему стереофонического радиовещания, представляющую собой компромисс между системами, предложенными фирмами «Дженерал Электрик» и «Зенит». Эта система недорогая, но специалисты полагают, что она не достаточно верно воспроизводит звук. Поэтому вполне возможно, что в Европе будет принята другая система[1].

[1] В настоящее время регулярное стереофоническое радиовещание проводится в США на УКВ по системе «Зенит» — «Джэнерал Электрик», разработанной в соответствии с нормами, утвержденны-

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЕЙ

ПРОСТОЙ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ ДВУХЛАМПОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТЬЮ ПО 2 *вт* В КАЖДОМ КАНАЛЕ

Принципиальная схема. Этот усилитель при очень небольшой стоимости дает вполне удовлетворительные результаты. На рис. 69 для упрощения схемы показан только один канал. Часть схемы, находящаяся между вертикальными пунктирными линиями, относится лишь к левому каналу, а для получения правого канала ее нужно полностью повторить. Часть же схемы, расположенная за пределами пунктирных линий, представляет собою полную схему узлов, общих для обоих каналов.

В каждом канале применен один триод-пентод ECL82. Триод служит для усиления напряжения, а пентод — для усиления мощности. Оба канала питаются от выпрямителя на лампе EZ80.

Трехпозиционный переключатель $П_1$ соединен с тремя входами.

При установке переключателя в положение *а* воспроизводятся стереофонические грампластинки.

ми Федеральной комиссией связи США (FCC) в апреле 1961 г.

В Европе экспериментальные стереофонические передачи проводятся во Франции и Италии.

Согласно нормам FCC несущая частота передатчика УКВ модулируется по частоте совместимым сигналом суммы левого и правого стереоканалов (*Л*+*П*). Сигнал стереофонической информации в форме разности сигналов стереоканалов (*Л*—*П*) модулирует по амплитуде поднесущую частоту 38 *кгц*, которая затем подавляется. Боковые частоты модулируют по частоте несущую передатчика. Для восстановления в приемнике поднесущей передается пилот-сигнал с частотой 19 *кгц*. Монофонический приемник принимает сигнал *Л*+*П*, получающийся непосредственно после частотного детектора. Для приема стереофонического сигнала необходима приставка к приемнику или специальный стереоприемник, в которых поднесущая детектируется и выделяется сигнал *Л*—*П*. Для этой цели поднесущая частота восстанавливается с помощью пилот-сигнала, увлекающего генератор с частотой 19 *кгц*, которая затем удваивается и направляется в детектор вместе с боковыми полосами модуляции. Сигналы *Л*+*П* и *Л*—*П* складываются и вычитаются в матричной электрической схеме, в результате чего получаются сигналы левого и правого каналов (*Л* и *П*), которые затем усиливаются отдельными усилителями. В Европе в экспериментальных передачах используют видоизмененную систему Кросби, в которой несущая передатчика УКВ модулируется по частоте совместимым сигналом *Л*+*П*, а сигнал стереоинформации *Л*—*П* модулирует по частоте поднесущую частоту 50 *кгц*.

В 1962 г. Европейский радиовещательный союз рекомендовал для европейских стран американскую систему стереовещания с небольшими изменениями в части предварительной коррекции высоких звуковых частот в передатчике. (*Прим. ред.*)

При установке переключателя в положение *б* воспроизводятся монофонические грампластинки. В этом положении оба канала подключены параллельно к входному зажиму левого канала звукоснимателя. Входной зажим правого канала стереофонического звукоснимателя заземлен. Возможны различные модификации схемы.

При установке переключателя в положение *в* схема пригодна для воспроизведения монофонической радиопередачи.

Рис. 69. Принципиальная схема усилителя мощностью 2 *вт* в каждом канале

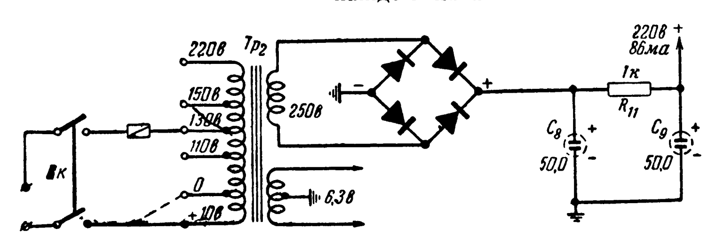


Рис. 70. Вариант предыдущей схемы блока питания.

Триод лампы ECL82 дает усиление по напряжению, равное 50. Регулятор громкости (логарифмический) включен в цепь сетки триода. Цепь коррекции и регулировки тембра состоит из логарифмического переменного сопротивления и конденсатора C_1; она также включена в цепь сетки триода. Этот регулятор позволяет плавно ослаблять высокие частоты на 23 *дб* на 10 *кгц*. Для этого регулятора применяют спаренный потенциометр. Таким образом, одинаковая регулировка одновременно производится в обоих каналах.

В каскаде усиления мощности каждого канала используется пентодная часть лампы ECL82. Для регулировки баланса обоих каналов применены спаренные потенциометры R_7, включенные в цепи сеток пентодов. Регулятор состоит из включенного в обратную сторону логарифмического потенциометра в одном канале и из нормально включенного антилогарифмического потенциометра в другом канале.

Если не удастся найти такой двойной потенциометр, то можно применить два линейных потенциометра по 1 *Мом*, включенных последовательно с сопротивлениями по 1 *Мом* по схеме, изображенной на рис. 41, *а*, или для регулировки громкости взять два потенциометра на концентрических осях с фрикционной связью и заменить регулятор баланса двумя постоянными сопротивлениями по 470 *ком*. При такой схеме разницу между двумя каналами можно исправить с помощью потенциометра регулятора громкости, служащего одновременно регулятором баланса. Для этого нужно соответственно изменить угол между осями потенциометров, фрикционно связанных друг с другом.

Цепь отрицательной обратной связи предусмотрена между входом и выходом усилителя. Глубина обратной связи устанавливается в 6 *дб* в каждом канале.

В блоке питания применен кенотрон EZ80. Через сглаживающий фильтр, состоящий из сопротивления и конденсаторов, выпрямленное высокое напряжение подается на оба канала. Общий ток при напряжении 220 *в* составляет 86 *ма*, а ток накала при напряжении 6,3 *в* — 2,56 *а*.

На рис. 70 показан вариант схемы блока питания с селеновым выпрямителем.

ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЯ

Чувствительность входов. При всех видах работы чувствительность усилителя 280 *мв* при выходной мощности каждого канала 2 *вт* и обратной связи 6 *дб* (рис. 71). При номинальной мощности 2 *вт* коэффициент искажений равен 5%. Это измерение производилось на частоте 400 *гц*.

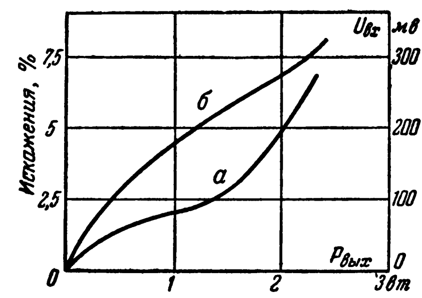


Рис. 71. Искажения (*а*) и мощность (*б*) в зависимости от напряжения на входе усилителя

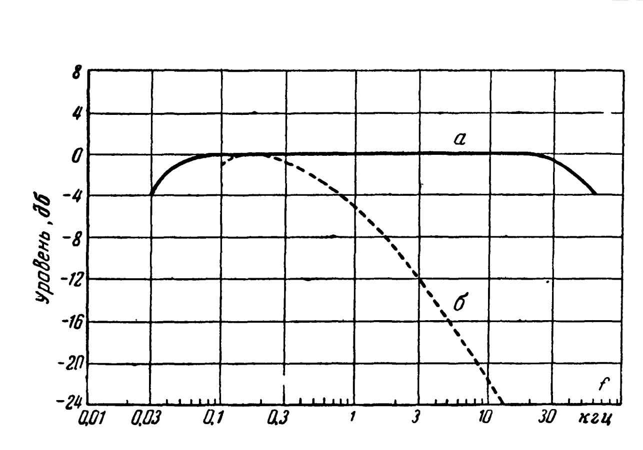


Рис. 72. Частотная характеристика (*а*) и действие регулятора тембра (*б*).

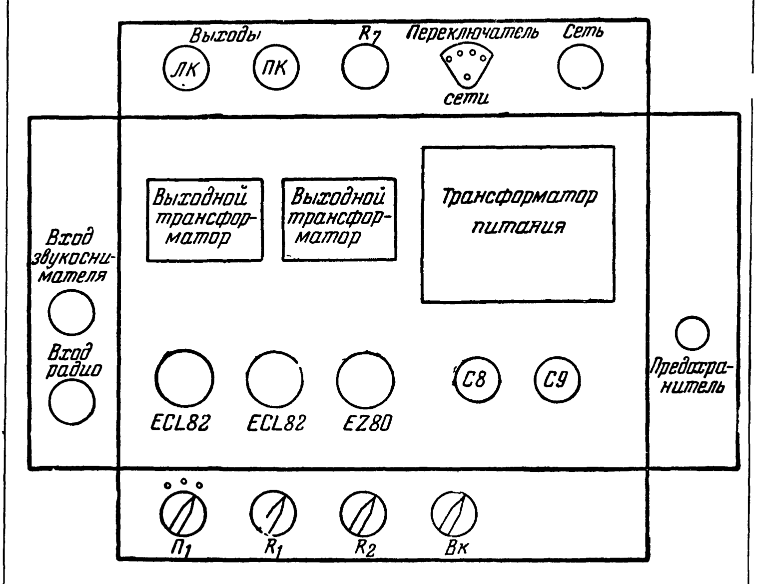


Рис. 73. Примерное размещение деталей на шасси усилителя.

Регулировка тембра. Действие этого регулятора показано на рис. 72. Он ослабляет высокие частоты до 23 *дб* на частоте 10 *кгц* при мощности на выходе 0,5 *вт*. На частотах от 40 *гц* до 40 *кгц* имеется завал на — 3 *дб* по отношению к уровню 1 *кгц*. Это соответствует установке регулятора громкости в положение максимума высоких частот.

Уровень фона и шумов в каждом канале на 62 *дб* ниже номинальной выходной мощности.

На рис. 73 показано примерное расположение деталей на шасси усилителя.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ ТРЕХЛАМПОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТЬЮ ПО 2 *вт* В КАЖДОМ КАНАЛЕ

Принципиальная схема. Этот усилитель дает такую же выходную мощность, что и предыдущий. Дополнительная лампа (12AX7) позволила создать более совершенную схему регулировки тембра, которая дает подъем на низких частотах и повышает или ослабляет усиление на высоких частотах. Эта регулировка вместо двойного потенциометра осуществляется с помощью клавишного переключателя, включающего предварительно подобранные элементы схемы. Усилитель рассчитан на установку в чемодане радиограммофона.

На рис. 74 приведена полная схема усилителя. Так как она более сложная, то на рисунке изображены оба канала усиления. В связи с тем что эта конструкция предназначена для использования в чемоданном радиограммофоне, она имеет только два входа для звукоснимателя, так как вход для радиоприемника не нужен.

Двойной триод 12AX7 на входе служит для предварительного усиления обоих каналов. Триодные части лампы ECL82 усиливают напряжение, а пентодные части служат для усиления мощности.

Стереофонический пьезоэлектрический звукосниматель подключается к зажимам «звукосниматель». Двухпозиционный переключатель позволяет включать оба входа в параллель для воспроизведения монофонических грампластинок.

Входы соединены непосредственно с линейными регуляторами баланса P_1, P_2 установленными на одной оси. Эти линейные потенциометры по 1 *Мом* соединены последовательно с сопротивлениями R_7, R_8. Сопротивления R_{45}, R_{46} служат для снижения полного сопротивления входа, которое для получения лучшей частотной характеристики в сочетании с используемым звукоснимателем должно быть не выше 1,5 *Мом*.

Для получения отрицательной обратной связи сопротивления R_3, R_4 не шунтированы конденсаторами, что улучшает характеристику на низких частотах.

Схема регулятора тембра включена в цепь анода входной лампы между точками *А* и *Б*. Она состоит из нескольких *RC*-фильтров, соединенных с четырехпозиционным клавишным переключателем.

Клавиша 1. При ее нажатии включается схема коррекции, изображенная на рис. 75,*а*. Получающаяся при этом частотная характеристика усилителя обозначена буквой *а*. Получается повышение усиления на низких частотах до 18 *дб* (на 30 *гц*) и усиления на высоких частотах до 6 *дб* (на 10 000 *гц*). Эта клавиша служит для высококачественного воспроизведения звука.

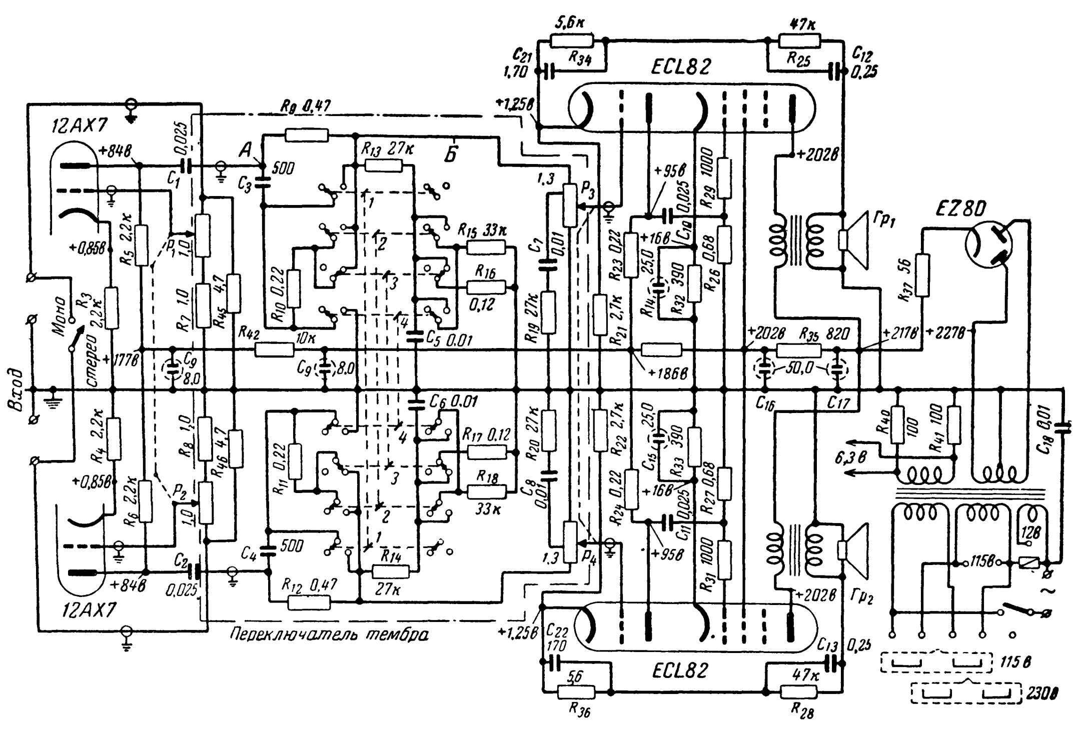


Рис. 74. Полная принципиальная схема стереофонического усилителя мощностью 2 *вт* в каждом канале.

Клавиша 2. При ее нажатии включается другая схема коррекции (рис. 75, *б*), что дает частотную характеристику, обозначенную буквой *б*. Повышение усиления на низких частотах достигает 11 *дб* (на 30 *гц*), а на высоких частотах характеристика линейна. Учитывая частотные характеристики звукоснимателя, усилителя и небольшие размеры акустической системы (в чемодане), можно считать, что при включении этой клавиши усилитель дает линейную частотную характеристику в пределах 10 *кгц*.

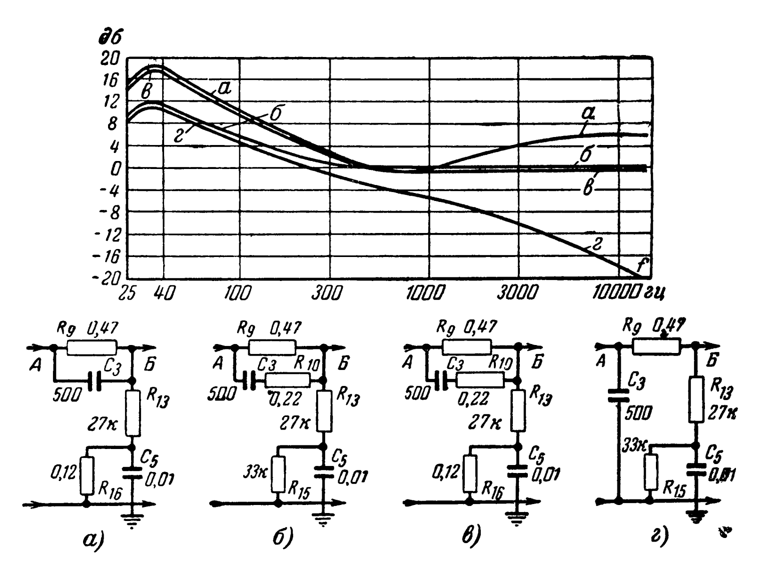


Рис. 75. Схемы тонкоррекции и частотные характеристики

Клавиша 3. Схема коррекции усилителя при нажатии этой клавиши (рис. 75, *в*) дает повышение усиления низких частот такое же, как и клавиша *1*, и линейное усиление высоких частот, как при включении клавиши *2* (кривая *в*). Такое сочетание двух предыдущих частотных характеристик следует предпочесть, если прослушивается небольшое шипение при проигрывании грампластинки.

Клавиша 4. При нажатии этой клавиши (рис. 75, *г*) получатся некоторое повышение усиления на низких частотах, как при включении клавиши *2*, и ослабление высоких частот до 18 *дб* (на 10 000 *гц*).

Эту клавишу рекомендуется нажимать для воспроизведения речи, грампластинок, долго бывших в употреблении, или пластинок на 78 *об/мин*.

Принципиальная схема показана с включенной клавишей *3*.

В цепь сетки лампы каскада усиления напряжения (триодная часть ECL82) включен регулятор громкости, представляющий собой два логарифмических потенциометра по 1,3 *Мом*, установлен-

ных на одной оси. Промежуточный вывод на 0,3 *Мом*, соединенный с корпусом через цепь C_7R_{19} или C_8R_{20}, обеспечивает подъем низких частот, так как чувствительность уха к низким частотам снижается при малой выходной мощности.

Частотнозависимая отрицательная обратная связь включена между вторичной обмоткой выходного трансформатора и катодом лампы усилителя напряжения. Таким образом приняты все меры, чтобы, несмотря на малые размеры громкоговорителя и акустической системы чемоданного радиограммофона, получить хорошее звучание низких частот. Усиление мощности обеспечивается пентодной частью лампы.

ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЯ

Для получения на выходе мощности 2 *вт* на вход усилителя нужно подать 350 *мв* (на каждый канал). На рис. 76 приведены кривые зависимости мощности усилителя (от напряжения на входе) и нелинейных искажений. При номинальной мощности 2 *вт* искажения составляют 2,5% на частоте 400 *гц*.

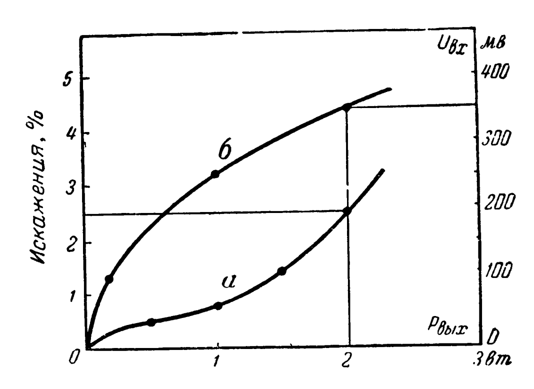


Рис. 76. Искажения *(а)* и мощность *(б)* в зависимости от напряжения на входе усилителя.

Уровень фона и шумов в каждом канале усилителя на 50 *дб* ниже номинальной выходной мощности.

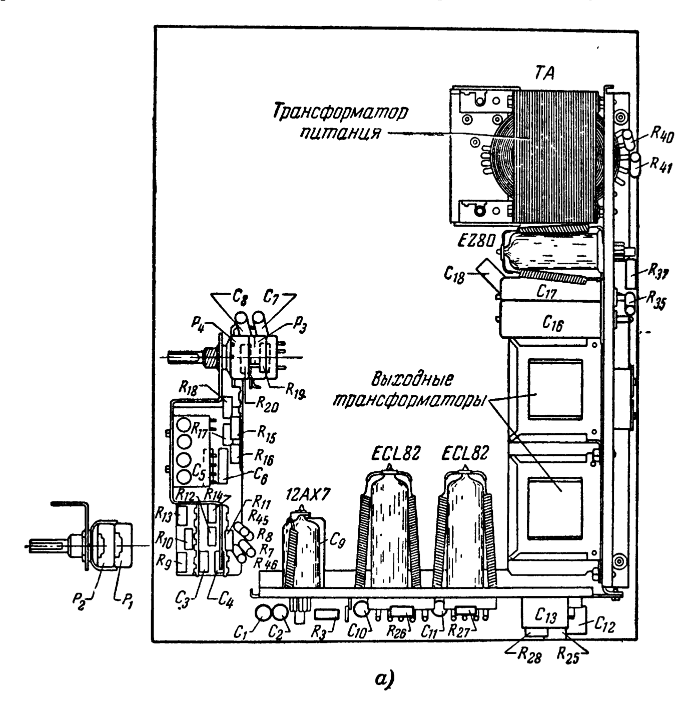
На рис. 77 показано размещение основных узлов и деталей на шасси усилителя.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ ЧЕТЫРЕХЛАМПОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТЬЮ ПО 4 *вт* В КАЖДОМ КАНАЛЕ

Принципиальная схема. Этот усилитель в сочетании с соответствующей акустической системой дает очень хорошее звучание. Его мощность при нелинейных искажениях 1,5% вполне достаточна даже для самых больших современных жилых комнат.

На рис. 78 показана принципиальная схема усилителя. В ней применены два двойных триода 12AX7 (в предварительных каскадах) и два пентода EL84 (в оконечных каскадах).

Усилитель имеет вход для звукоснимателя и по одному дополнительному входу на каждый канал. Трехпозиционный переключатель $П_1$ позволяет: в положении *1* воспроизводить стереофонические грампластинки; в положении *2* — монофонические грампластинки;



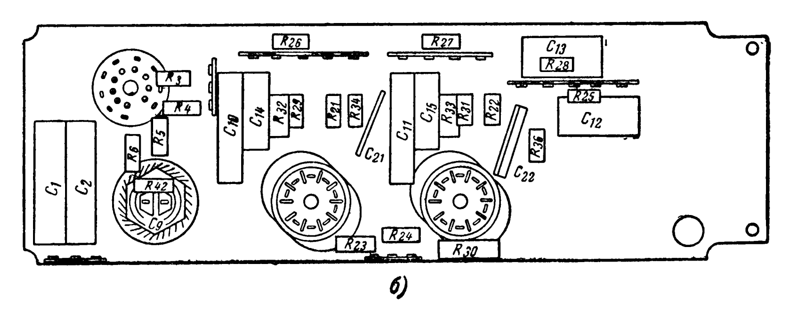


Рис. 77. Расположение узлов и деталей на шасси усилителя.

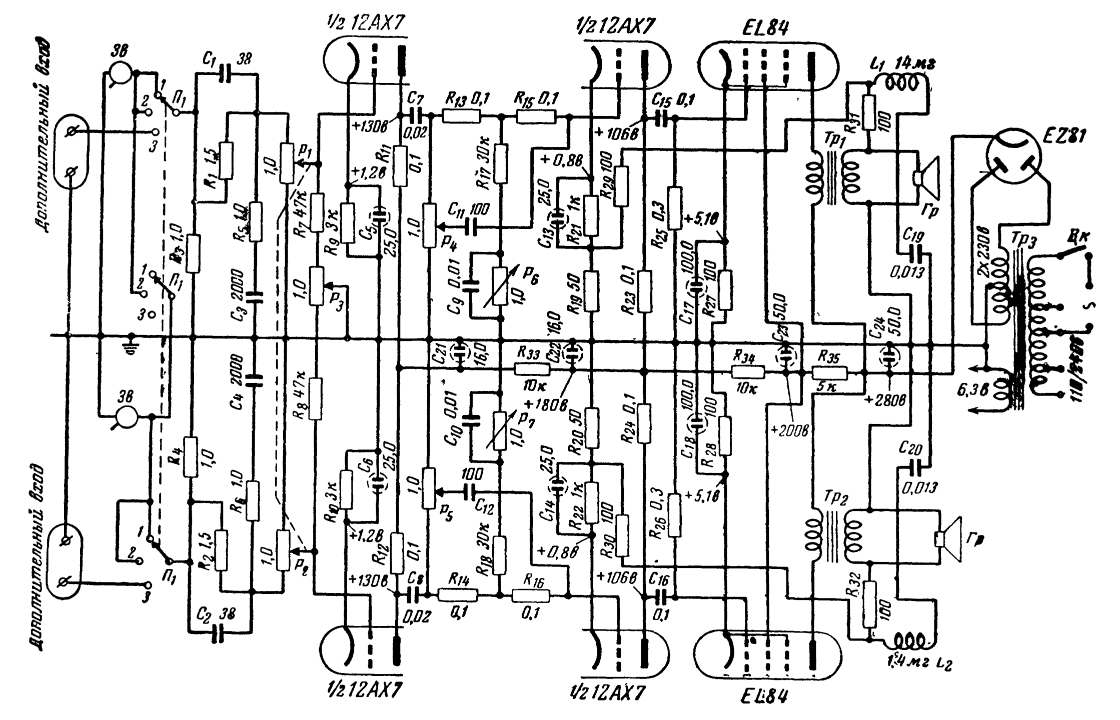


Рис. 78. Принципиальная схема стереофонического усилителя мощностью по 4 *вт* в каждом канале.

в положении 3 воспроизводить сигналы от стереофонического магнитофона или радиоприемника.

Для согласования усилителя со звукоснимателем сигнал проходит через два фильтра (R_1C_1 и R_5C_3). Громкость регулируется двойным регулятором (P_1, P_2) на одной оси; за ним следует простая цепь баланса с одним линейным потенциометром, движок которого соединен с шасси. Для усиления напряжения в каждом канале служат триодные части лампы 12AX7.

В анодную цепь левого (по схеме) триода лампы включена обычная цепь коррекции тембра. Потенциометры P_6 и P_7 низких частот управляются одной осью, а потенциометры P_4 и P_5 высоких частот посажены на отдельные оси и каждый из них приводится в действие самостоятельной ручкой. Так как стереофонический эффект создается в первую очередь высокими частотами, целесообразно корректировать акустику воспроизводящей системы и характеристики каждого канала, что и достигается раздельным регулированием высоких частот.

Отрицательная обратная связь образуется Т-образным фильтром, центральная ветвь которого представляет собой колебательный контур из индуктивности и емкости, соединенных последовательно.

Высокая добротность корректирующей катушки контура позволяет поднять частоты выше 8 000 *гц* на 12 *дб* на октаву. Таким образом получают очень большой диапазон усиления высоких частот (от —16 *дб* на 10 500 *гц* при минимальном положении регулятора тембра до +12 *дб* при максимальном).

Оконечный каскад работает в режиме *A* на лампе EL84. Получение хороших результатов зависит также от качества выходных трансформаторов. Поэтому они должны быть изготовлены на сердечниках из пластин с ориентированными зернами.

ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЯ

Чувствительность усилителя 320 *мв* для каждого входа при обратной связи 22 *дб* (рис. 79). Здесь же показано, что искажения при выходной мощности 4 *вт* достигают 1,5%, а при 3 *вт* — 0,7%. Такие результаты достигнуты благодаря высокому коэффициенту отрицательной обратной связи.

На рис. 80 приведены частотные характеристики усилителя при различных положениях регулятора тембра Низкие частоты могут регулироваться в пределах от —6 до +12 *дб* на 30 *гц*, а высокие — в пределах от —16 до +12 *дб* на 10 500 *гц*. Уровень фона и шумов в каждом канале на 70 *дб* ниже номинальной выходной мощности.

Размещение основных узлов и деталей усилителя на шасси показано на рис. 81.

Акустические системы оказывают очень большое влияние на конечные результаты звучания всей установки. Описываемый усилитель был специально рассчитан на применение системы с лабиринтом. Схематическое изображение такой системы показано на рис. 82. В ней установлен специальный громкоговоритель диаметром 21 *см*. Он снабжен противовихревым экраном, который крепится в центральном керне. Таким путем достигается повышение акустической отдачи на всех высоких частотах и регулируется характеристика на средних частотах. Громкоговоритель укреплен на щите, наклоненном под углом 45° к горизонтали. Небольшая прокладка из стекло-

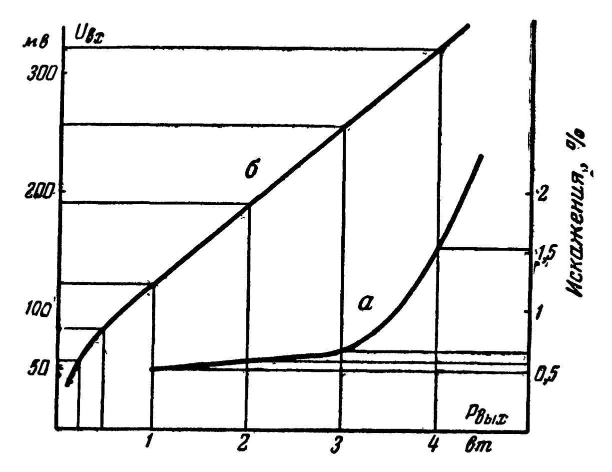


Рис. 79. Нелинейные искажения *(а)* и выходная мощность *(б)*.

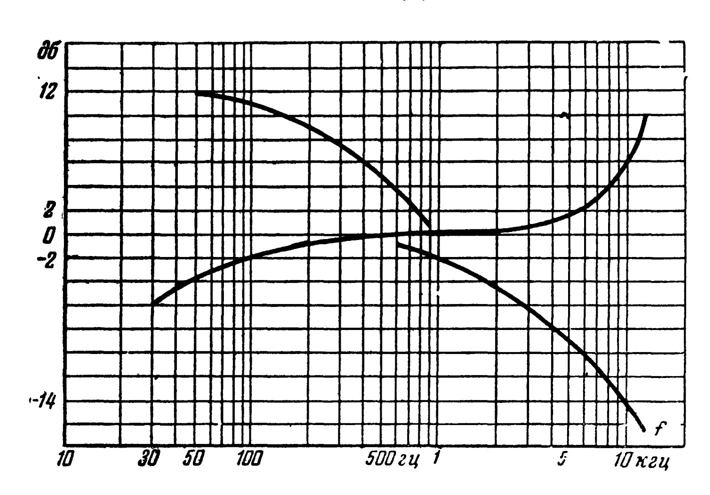


Рис. 80. Частотные характеристики при различных положениях регулятора тембра.

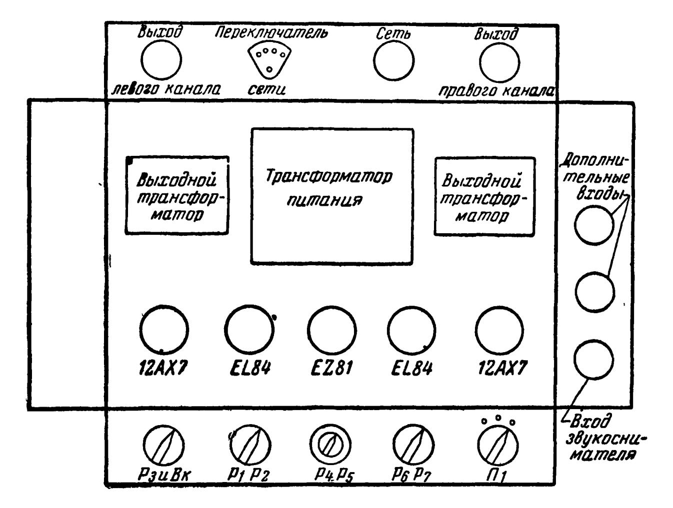


Рис. 81. Размещение основных узлов и деталей на шасси усилителя.

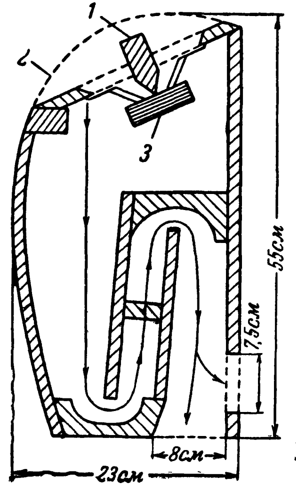


Рис. 82. Схематический разрез акустической системы.

1 — противовихревой экран; *2* — защитная решетка; *3* — громкоговоритель.

локна, помещенная позади держателя диффузора, демпфирует собственный резонанс диффузора и акустической системы. Лабиринт увеличивает путь, проходимый низкими частотами, что позволяст уменьшить размеры системы и получить приемлемое звучание самых низких частот.

УЛЬТРАЛИНЕЙНЫЙ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ ПЯТИЛАМПОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТЬЮ ПО 7 *вт* В КАЖДОМ КАНАЛЕ

Принципиальная схема. Этот усилитель обладает высококачественным стереофоническим звучанием и дает мощность, более чем достаточную для нормальных условий. Следовательно, он позволяет работать в легком режиме и благодаря этому дает незначительные искажения.

На рис. 83 показана принципиальная схема входов, блока питания и левого канала. Для получения правого канала необходимо повторить часть схемы, находящуюся между пунктирными линиями.

В усилителе применены двойной триод 12AX7 и четыре триода-пентода ECL82. Двойной триод используется в обоих каналах для усиления напряжения. Кроме того, в каждом канале имеется по две лампы ECL82. Триодные части лампы образуют фазоинвертор. Пентодные части представляют собой мощный симметричный ультралинейный каскад.

Схема переключателя рода работы идентична схеме переключателя, использованного в первой конструкции (рис. 69).

Непосредственно у входа установлен регулятор тембра R_1C_1, включенный между сеткой лампы и шасси Он ослабляет высокие частоты. Затем следует регулятор громкости R_2, также включенный между сеткой лампы и шасси. В этих регуляторах применены сдвоенные потенциометры на одной оси.

Глубокая отрицательная обратная связь (21 *дб*), вводимая в цепь катода каждого входного каскада со вторичной обмотки выходного трансформатора, может вызвать некоторую нестабильность. Для устранения этого сопротивление R_3 в цепи анода первого триода шунтировано конденсатором C_2, что позволило снизить усиление на высоких частотах Цепь $R\ C$ вызывает ослабление усиления на низких частотах и ограничивает сдвиг фазы. Эти меры предосторожности обеспечивают стабильность усилителя.

Для компенсации различия между выходными напряжениями двух элементов стереофонического звукоснимателя или неодинаковой чувствительности громкоговорителей служит регулятор баланса R_7, установленный между входным и фазоинверторным каскадами. В одном из каналов используется логарифмический потенциометр, включенный наоборот, а в другом канале — антилогарифмический потенциометр, включенный нормально. Оба эти потенциометра установлены на одной оси.

Как и в первой конструкции, их можно заменить или двумя линейными потенциометрами с ограничивающим сопротивлением 1 *Мом*, или двумя постоянными сопротивлениями по 470 *ком*, если потенциометры регулятора громкости установлены на концентрических осях и имеют фрикционную связь.

Сопротивления R_{12}, R_{15} соединяют анод лампы $Л_{2a}$ с сеткой лампы $Л_{3a}$. Эти сопротивления образуют также цепь утечки сетки

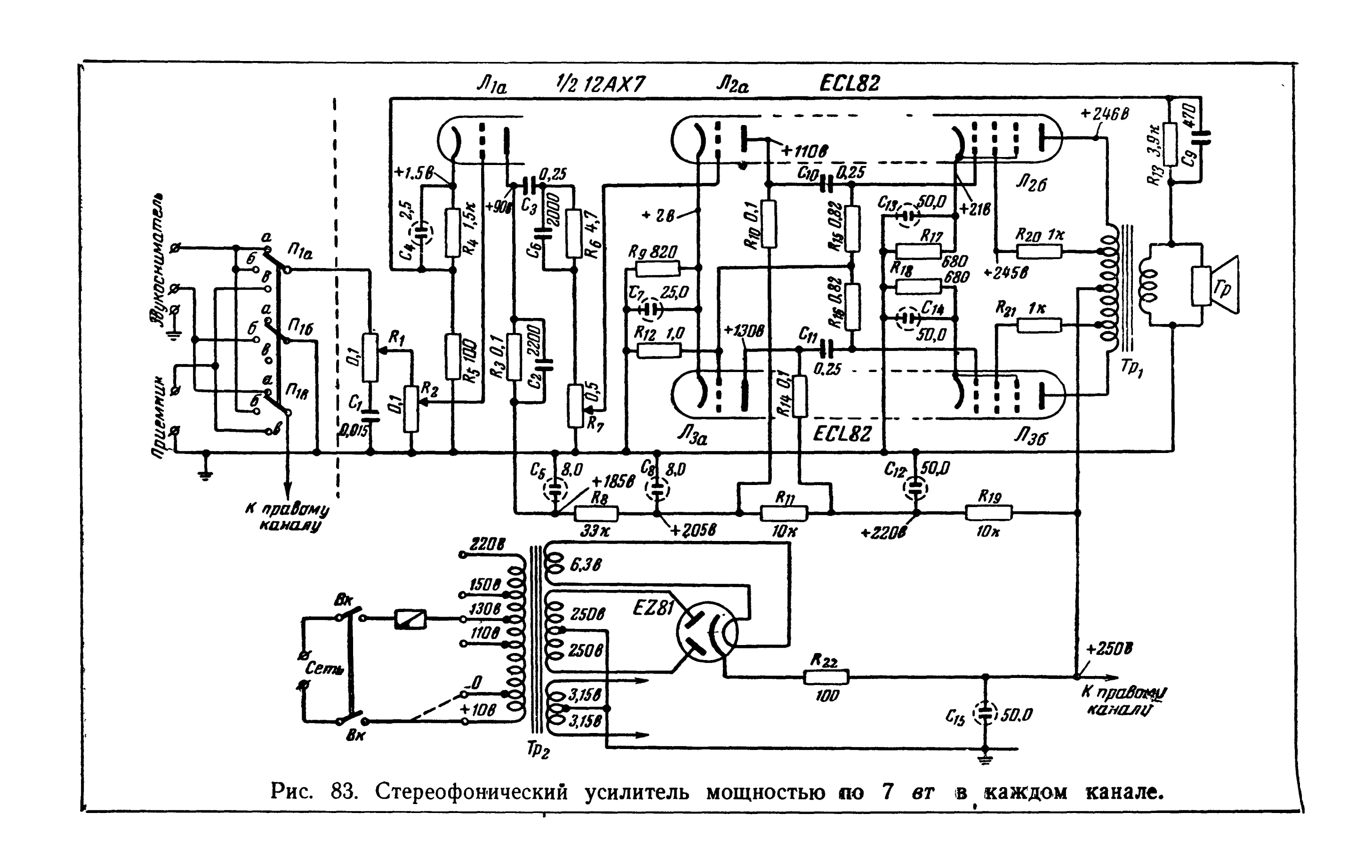


Рис. 83. Стереофонический усилитель мощностью по 7 *вт* в каждом канале.

пентода $Л_{2б}$. Сопротивления R_{16} и R_{12} представляют собой сопротивление утечки лампы $Л_{3б}$. Баланс между выходными напряжениями триодов фазоинвенвертора определяется величинами этих трех сопротивлений.

Эту часть схемы необходимо тщательно отрегулировать, чтобы избежать нарушения равновесия в двухтактном оконечном каскаде.

Пентодные части ламп ECL82 образуют двухтактный каскад «ультралинейного» типа. Каждая половина первичной обмотки выходного трансформатора имеет дополнительный вывод для присоединения к нему экранирующей сетки выходной лампы. Таким образом, 20% витков этой обмотки оказывается включенным между анодом и экранирующей сеткой этой же лампы, создавая обратную связь, улучшающую частотную характеристику и снижающую искажения.

Коэффициент обратной связи между вторичной обмоткой выходного трансформатора каждого канала и цепью катода лампы входного каскада составляет 21 *дб*. При этой обратной связи выходное сопротивление каждого канала составляет 0,54 *ом*, измеренное на выходных зажимах, предназначенных для громкоговорителя сопротивлением 15 *ом*. Это дает коэффициент затухания около 28.

Оба канала питаются от одной цепи. Правый канал включен в точке, указанной на схеме. В каждом канале применен самостоятельный фильтр $R_{19}C_{12}$. Сопротивление R_{22} в цепи катода кенотрона дополняет сопротивление трансформатора до необходимой для кенотрона величины. При напряжении 250 *в* (до фильтра выпрямителя) общий ток обоих каналов составляет 150 *ма*.

ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЯ

Чувствительность усилителя 120 *мв* для каждого входа для номинальной мощности 7 *вт* при обратной связи 21 *дб* (рис. 84). Чувствительность одинакова при всех родах работы.

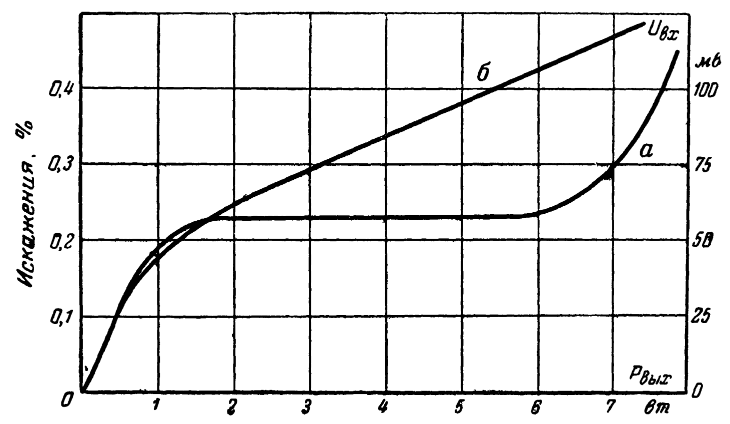


Рис. 84. Нелинейные искажения (*а*), выходное напряжение и мощность на выходе (*б*).

На этом же рисунке показана величина нелинейных искажений. При номинальной мощности 7 *вт* благодаря очень глубокой обратной связи (измерение производилось на 400 *гц*) коэффициент нелинейных искажений составляет 0,3%.

На рис. 85 показано действие регулятора тембра. Он ослабляет высокие частоты на 20 *дб* (на частоте 10 *кгц*) при мощности на выходе 1 *вт*.

Уровень фона и шумов в каждом канале на 65 *дб* ниже номинальной выходной мощности.

Размещение узлов и деталей на шасси усилителя показано на рис. 86.

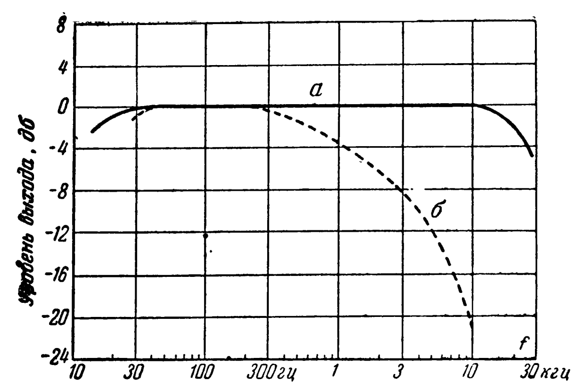


Рис. 85. Частотная характеристика *(а)* и действие регулировки тембра *(б)*.

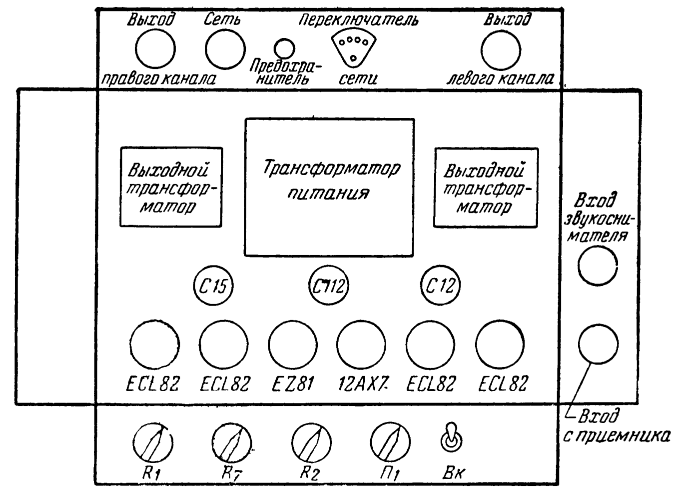


Рис. 86. Примерное размещение деталей на шасси.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Принципиальная схема. Этот стереофонический предварительный усилитель может включаться перед любой парой монофонических усилителей. Он позволяет превратить монофоническую установку в стереофоническую. Владелец монофонической установки должен приобрести или собрать усилитель, подобный имеющемуся в монофонической установке, и затем подключить описанный ниже предварительный усилитель. Его схема показана на рис. 87. Между пунктирными линиями изображен только один канал; для получения полной схемы эту часть необходимо полностью повторить.

В усилителе предусмотрены специальные входы, рассчитанные на работу от магнитофона, радиоприемника и стереофонических звукоснимателей (электромагнитного и пьезоэлектрического). Регулятор тембра корректирует весь спектр звуковых частот. Выходное напряжение достаточно для подключения двух 20-ваттных усилителей. На выходе усилителя предусмотрены делители напряжения, если для подключаемых усилителей потребуется меньшее входное напряжение.

В усилителе имеется пять входов: дополнительный, для радиоприемника, магнитофона, звукоснимателя для долгоиграющих грампластинок; звукоснимателя для грампластинок на 78 *об/мин*.

Коммутация входов, а также частотнозависимой обратной связи осуществляется четырехплатным пятипозиционным переключателем $П_1$. Все неиспользуемые входы замыкаются на шасси, специально предусмотренными для этой цели контактами, что значительно снижает взаимное влияние входов.

Переключатель $П_2$ позволяет включить или выключить тот или иной канал: в положении *а* левый канал заземлен и работает только правый; в положении *б* работают оба канала; в положении *в* правый канал заземлен и работает только левый.

Каждый канал имеет два каскада, собранных на пентодах EF86 с малым микрофонным эффектом. Все элементы коррекции характеристик находятся в первом каскаде. Коррекция осуществляется с помощью частотнозависимой обратной связи, включенной между анодом и сеткой первой лампы. Во втором каскаде, который выделен для регулировки тембра, обратной связи нет.

Все это сделано для того, чтобы общее сопротивление цепи сетки первой лампы было мало. Действительно, малое общее сопротивление в этой точке уменьшает наводки и снижает влияние подключенных внешних цепей с малым общим сопротивлением. Сопротивления, включенные последовательно во входную цепь, позволяют точно согласовать чувствительность канала в зависимости от рода работы. Значения элементов схемы подобраны для наиболее распространенных источников сигналов.

Второй каскад рассчитан на получение значительного усиления, чтобы, несмотря на потери в цепях регулировки тембра, получить на выходе 250 *мв*. Эти цепи имеют малое общее сопротивление, чтобы возможная емкость соединительных проводов не вносила изменений в частотную характеристику.

Регулятор баланса позволяет уравновесить между собой каналы. Он состоит из включенного в обратную сторону логарифмического потенциометра R_{16} в одном канале и нормально включенного анти-

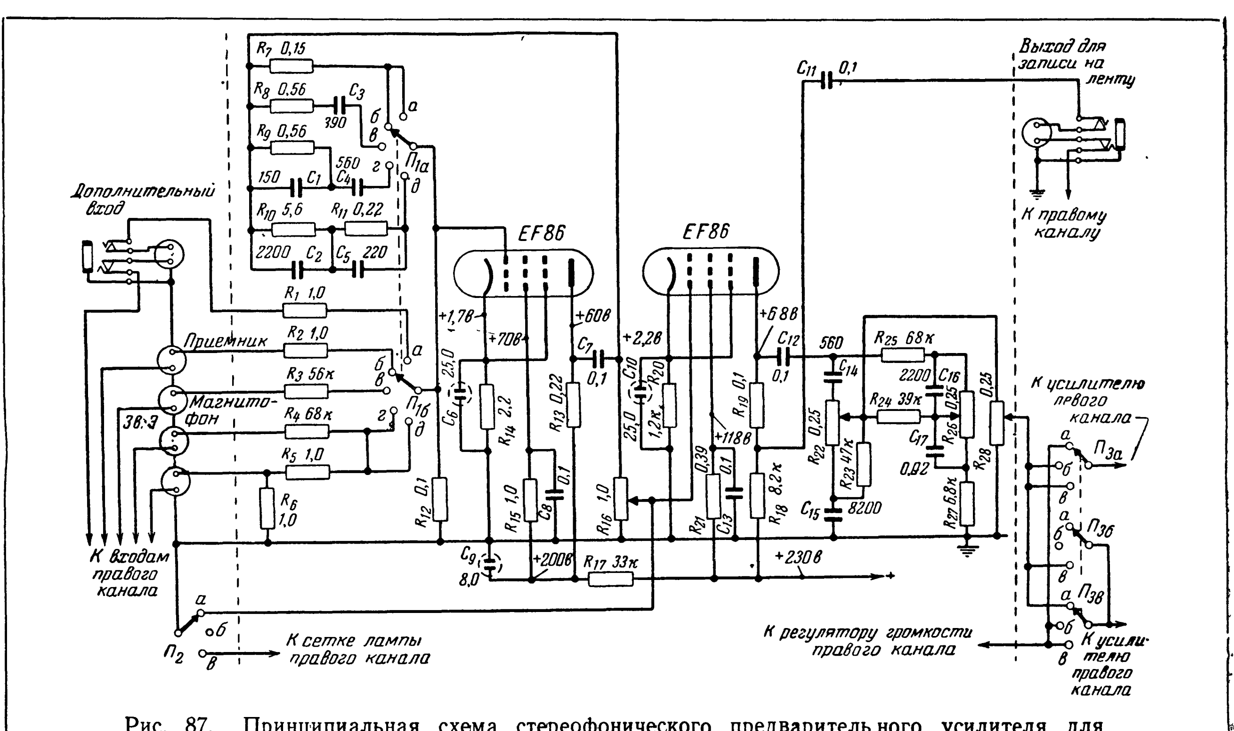


Рис. 87. Принципиальная схема стереофонического предварительного усилителя для высококачественного воспроизведения звука (показан только левый канал).

логарифмического потенциометра в другом канале. Регулятор громкости R_{28} установлен на выходе усилителя (представляющий собой сдвоенный логарифмический потенциометр).

Питание каналов предварительного усилителя берется от мощных усилителей соответствующих каналов. Высокое напряжение должно быть хорошо сглажено фильтрами. Для предотвращения каких бы то ни было связей через источники питания целесообразно установить в усилителе мощности (до соединения с предварительным

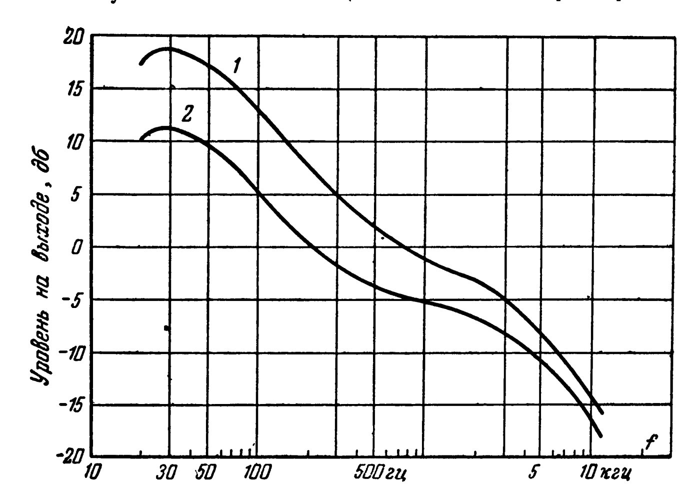


Рис. 88. Частотные характеристики предварительного усилителя.

1 — для долгоиграющих грампластинок; *2* — для грампластинок на 78 *об/мин.*

усилителем) дополнительный фильтр, состоящий из сопротивления от 22 до 56 *ком* и конденсатора 16 *мкф*. Величина сопротивления подбирается так, чтобы получить необходимые напряжения для каждого канала предварительного усилителя.

Переключатель $П_3$ позволяет соединять оба канала на стереофоническое воспроизведение, а также менять каналы местами или соединять их параллельно для монофонического воспроизведения. Менять местами каналы приходится в том случае, когда перепутаны входные соединения звукоснимателя или магнитной головки.

Дополнительный выход позволяет в случае необходимости следить за программой с помощью телефонов. Напряжение на этом выходе равно 250 *мв*.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Измерения производились на каждом входе. Фон и шумы измерялись на предварительном усилителе, когда к нему был подключен мощный усилитель. Соответствующий вход замыкался накоротко,

и измерение производилось на сопротивлении нагрузки на выходе усилителя. Приводимые частотные характеристики относятся ко всему комплексу: предварительный усилитель — мощный усилитель. Значение чувствительности приводится для получения на выходе предварительного усилителя напряжения 250 *мв*.

Частотные характеристики усилителя для электромагнитных или пьезоэлектрических звукоснимателей показаны на рис. 88. Различия в чувствительности между положениями для долгоиграющих грампластинок и для грампластинок на 78 *об/мин* получены благодаря различным коэффициентам обратной связи.

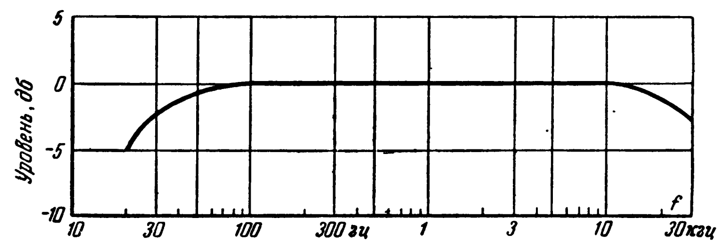


Рис. 89. Частотная характеристика предварительного усилителя при работе от входа для радиоприемника.

Общее входное сопротивление для электромагнитного звукоснимателя около 100 *ком*. Чувствительность на частоте 1 *кгц* для долгоиграющих пластинок 5 *мв*, для пластинок на 78 *об/мин* 15 *мв*.

При использовании электродинамических звукоснимателей следует повысить величину сопротивления R_4, чтобы снизить чувствительность входа и привести ее в соответствие с напряжением от звукоснимателя.

Общее входное сопротивление для пьезоэлектрического звукоснимателя 100 *ком*. Чувствительность на частоте 1 *кгц* для долгоиграющих пластинок 70 *мв*, для пластинок на 78 *об/мин* — 210 *мв*.

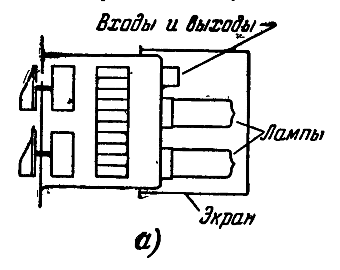
При этом положении входа можно использовать пьезоэлектрические звукосниматели с высоким выходным напряжением. Вход усилителя нагружен сопротивлением R_6 (100 *ком*), чтобы частотные характеристики были примерно такими же, как и для электромагнитного звукоснимателя. Поэтому можно использовать те же цепи обратной связи. Если напряжение, даваемое звукоснимателем, слишком велико, то звукосниматель соединяется с вспомогательным входом.

Общее входное сопротивление для включения магнитофона около 80 *ком*. Чувствительность на частоте 1 *кгц* 4 *мв*. Этот вход предназначен для воспроизведения магнитной записи со скоростью 19 *см/сек* на магнитофоне с высокоомной головкой. В случае необходимости повысить чувствительность можно снизить величину входного сопротивления R_3.

Общее входное сопротивление для включения радиоприемника 1 *Мом*. При этом чувствительность усилителя равна 330 *мв*. Частотная характеристика усилителя при этом входе показана на рис. 89. Изменяя величины сопротивлений R_7 и R_2, можно получить другие характеристики. Можно также уменьшить общее вход-

ное сопротивление, для этого нужно между зажимом входа и шасси включить сопротивление соответствующей величины.

Дополнительный вход может использоваться для подключения пьезоэлектрических звукоснимателей с высоким выходным сопро-



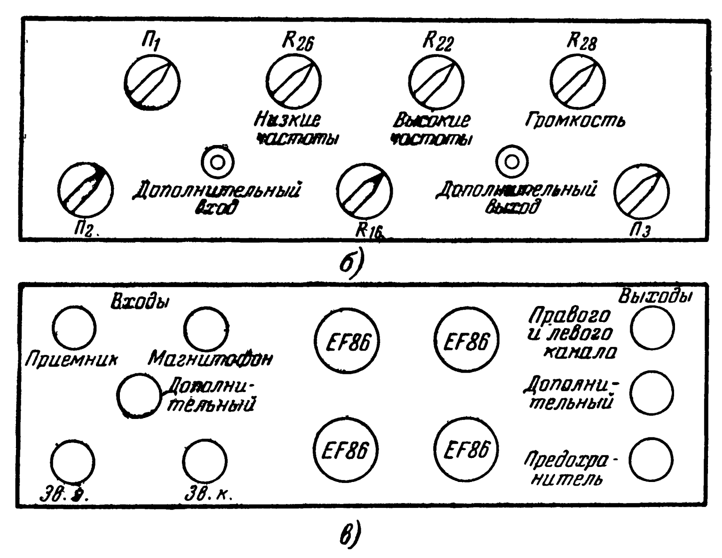


Рис. 90. Пример конструкции предварительного усилителя.

а — общий вид (сбоку); *б* — передняя панель; *в* — задняя панель.

тивлением или для подключения магнитофонных предварительных усилителей. При этом входе усилитель обладает теми же характеристиками, что и при входе для радиоприемника.

Нелинейные искажения при нормальных уровнях на выходе меньше 0,15%.

Дополнительный выход позволяет записывать воспроизводимую предварительным усилителем программу на магнитофоне. Действие регуляторов тембра на этот выход не распространяется.

Расположение узлов и деталей на шасси усилителя показано на рис. 90.

МОНОФОНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗВУКА МОЩНОСТЬЮ 20 *вт*

Принципиальная схема. Этот усилитель, собранный по двухтактной схеме ультралинейного типа, рассчитан на работу с предыдущим предварительным усилителем. Он не имеет никаких органов управления за исключением выключателя сети питания.

Два таких усилителя в сочетании с описанным предварительным усилителем составляют стереофоническую установку высококачественного воспроизведения звука, мощности которой достаточно для большой аудитории или зала. При номинальной мощности (20 *вт*) эти усилители дают практически неизмеримый уровень искажений. Даже при мощности 30 *вт* искажения еще малы.

Лампа EF86 служит для усиления напряжения, лампа 12AX7, фазоинвертор и две лампы EL34, установленные в двухтактном каскаде,— для усиления мощности. Питание осуществляется с помощью кенотрона GZ34; предусмотрен вывод для питания предварительного усилителя и второй вывод на случай использования ЧМ-приставки. Полная схема усилителя показана на рис. 91.

Каскад усиления напряжения на пентоде EF86 с малым микрофонным эффектом дает усиление 120. Его чувствительность равна 220 *мв*. В цепях анода, экранирующей сетки и катода лучше применять пленочные высокостабильные сопротивления, чтобы насколько возможно снизить напряжение шумов.

Усилитель охвачен отрицательной обратной связью между вторичной обмоткой выходного трансформатора и катодом лампы EF86. Величины сопротивления R_3 и конденсатора C_1 зависят от общего сопротивления звуковой катушки громкоговорителя (для громкоговорителя 6—8 *ом* величина сопротивления R_3 должна быть 5,6 *ком*, для громкоговорителей 12—16 *ом* величина сопротивления R_3 должна быть 8,2 *ком*).

Цепочка R_8C_4 шунтирует анодную нагрузку, что снижает ее общее сопротивление на высоких частотах.

Двойной триод 12AX7 работает в фазоинверторном каскаде. Имеющееся высокое напряжение достаточно велико, поэтому можно получить напряжение возбуждения оконечного каскада с коэффициентом искажения 0,4%. Сопротивления R_{12} и R_{13} должны быть высокостабильные с допуском $\pm 5\%$. Величину этих сопротивлений следует точно измерить и большее из них поставить на место R_{13}. Наилучшее равновесие достигается в том случае, когда разница между реальными анодными нагрузками составляет 3%. Необходимо точно подобрать сопротивления R_{15} и R_{16}, так как они входят в состав анодных нагрузок фазоинверторного каскада.

Симметрия на высоких частотах определяется в основном монтажом. Необходимо, чтобы емкость между плечами и шасси двухтактного каскада была одинаковой. Симметрия на низких частотах зависит от величины постоянной времени цепочки R_9C_6 в сеточных цепях лампы 12AX7. Постоянная времени, равная 0,25 *сек*, позволила получить хорошую симметрию до очень низких частот.

Входной каскад соединен непосредственно с промежуточным каскадом (без переходных емкостей), чтобы снизить сдвиг фаз на

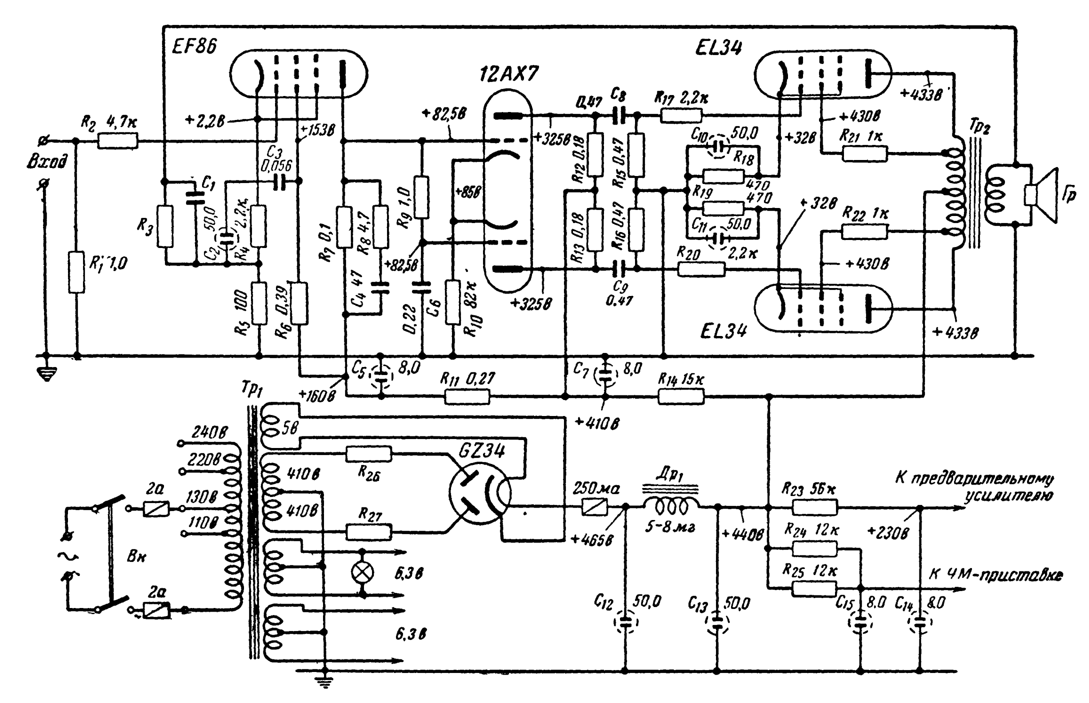


Рис. 91. Принципиальная схема усилителя мощностью 20 *вт* для высококачественного воспроизведения звука.

низких частотах, что улучшает стабильность работы усилителя на этих частотах.

Каскад усиления мощности построен по ультралинейной схеме, где экранирующие сетки ламп питаются от промежуточных выводов первичной обмотки выходного трансформатора. Общее сопротивление нагрузки составляет 6 600 *ом*. Напряжения питания 440 *в*. Мощность, рассеиваемая на каждой лампе, 28 *вт*. Сопротивления R_{21} и R_{22} включены в цепь экранирующих сеток ламп для улучшения линейности характеристики на мощностях, превышающих 15 *вт*.

В цепях катодов применены отдельные сопротивления для того, чтобы улучшить симметрию плеч, что повышает отдачу каскада на низких частотах.

Вторичная обмотка трансформатора питания дает напряжение 410 *в* $\times$ 2 при 180 *ма*. Это позволяет питать не только мощный, но и предварительный усилитель, а в случае необходимости и ЧМ-приставку. Для этих устройств предусмотрена специальная обмотка питания цепей накала.

Величины сопротивлений R_{26} и R_{27} зависят от сопротивления обмотки высокого напряжения при прохождении по ней постоянного тока. Общее сопротивление одной половины обмотки и одного ограничительного сопротивления должно быть не менее 110 *ом*.

Дроссель фильтра $Др_1$ должен иметь индуктивность порядка 5—8 *гн* при токе 180 *ма* и сопротивление порядка 200 *ом*. Рабочее напряжение конденсаторов $C_{12}C_{13}$ должно быть не менее 550 *в*.

ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЯ

Чувствительность усилителя 220 *мв* для получения мощности 20 *вт* на выходе при обратной связи 30 *дб* (рис. 92); без обратной

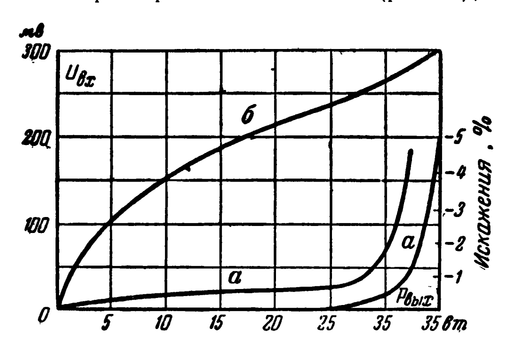


Рис. 92. Нелинейные искажения *(а)*, входное напряжение *(б)* и мощность на выходе.

связи чувствительность усилителя 6,5 *мв*. На этом же рисунке приведены также кривые искажений с обратной связью и без нее. Измерения производились на частоте 400 *гц*.

Для номинальной мощности 20 *вт* искажения без обратной связи меньше 1%. С обратной связью они становятся меньше

0,05%, что практически лишь с трудом удается измерить. При мощности 27 *вт* искажения составляют 0,1%.

Частотные характеристики усилителя (рис. 93) таковы, что коэффициент обратной связи на частоте 400 *гц* равен 30 *дб*, а на частоте 15 *гц* — 20 *дб*.

Измерения искажений в результате взаимного влияния каналов производились на частотах 40 *гц* и 10 *кгц* при соотношении амплитуд 4 : 1. При мощности 20 *вт* искажения в результате воздействия одного канала на другой составляют 0,7%.

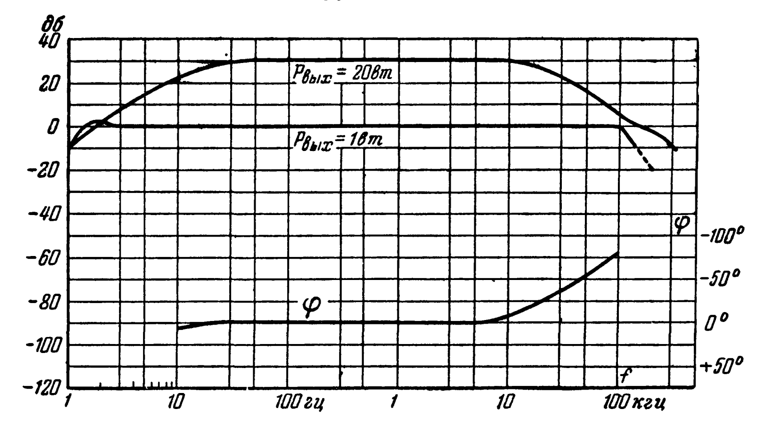


Рис. 93. Характеристика усилителя.

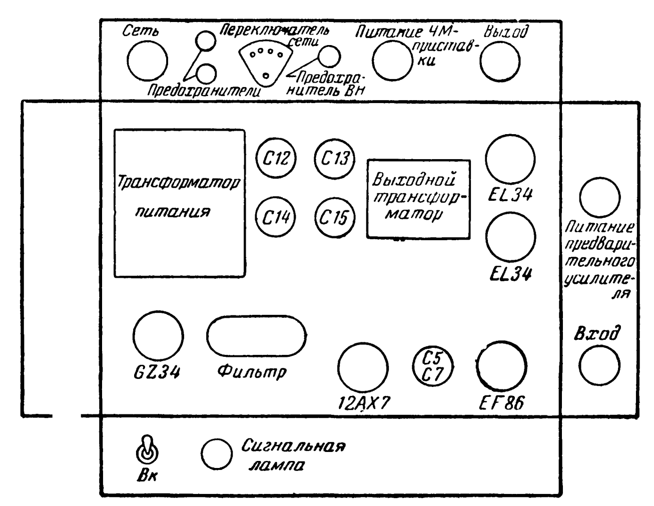


Рис. 94. Примерное размещение элементов на шасси усилителя.

Частотная характеристика (рис. 93). При выходной мощности 1 *вт* линейна ($\pm$1 *дб*) в диапазоне от 2 *гц* до 100 *кгц*. При мощности 20 *вт* характеристика имеет форму почти прямой линии ($\pm$0,5 *дб*) в диапазоне от 30 *гц* до 20 *кгц*.

Сдвиг фазы в зависимости от частоты имеет максимальное значение 10° на частоте 10 *гц* и 20° на частоте 20 *кгц*, а между этими двумя частотами сдвиг фазы отсутствует.

Благодаря высокому коэффициенту обратной связи полное выходное сопротивление усилителя равно примерно 0,3 *ом*.

Уровень фона и шумов у опытного макета составил 89 *дб* по отношению 20 *вт*.

Примерное размещение основных элементов на шасси усилителя показано на рис. 94.

ВЫХОДНОЙ ТРАНСФОРМАТОР

Полное сопротивление первичной обмотки выходного трансформатора равно 6 600 *ом*.

Индуктивность первичной обмотки, измеряемая при напряжении 5 *в* на частоте 50 *гц*, имеет 72 *гн*. а при 10 *в* — 120 *гн*. Индуктивность рассеяния при замкнутой накоротко вторичной обмотке равна 8 *мгн*, а при замкнутой накоротко половине первичной обмотки — 6 *мгн*. Активное сопротивление всей первичной обмотки равно 310 *ом*, а вторичной — 0,45 *ом* для нагрузки 12—16 *ом* и 0,18 *ом* для нагрузки 6—8 *ом*.

Обмотки наматываются на каркас, разделенный на две равные части, каждая из которых содержит половину обмоток. Половины обмоток наматываются во взаимно противоположных направлениях. Каждая половина первичной обмотки разделяется на пять равных секций, между которыми наматываются четыре секции половины вторичной обмотки. Таким образом, в общей сложности имеется десять секций первичной обмотки и восемь секций вторичной. Секции первичной обмотки соединены последовательно, а секции вторичной — частично последовательно и частично параллельно (рис. 95,*а*).

Магнитопровод. Сердечник собран из Ш-образных пластин из кремниевой стали, имеющей потери 1,6 *вт* на 1 *кг*. Размеры пластин указаны на рис. 95,*б*. Толщина набора 50 *мм*, сечение сердечника 25 *см²*. Пластины сердечника укладывают вперекрышку.

Обмотки. Каркас имеет щечки по краям и одну промежуточную — строго посредине. Ширина каждой половины обмоток 32 *мм*. Все обмотки выполнены проводом с эмалевой изоляцией. Изоляция между секциями обмоток делается из одного слоя картона толщиной 0,1 *мм* и двух слоев кабельной бумаги толщиной по 60 *мк*.

В приведенной ниже таблице секции обмоток, стоящие в одной строке, наматываются во взаимно противоположных направлениях. Это означает, что сначала нужно намотать секции половины первичной и вторичной обмоток (П1, В1, П2 и т. д.), а затем перевернуть каркас и наматывать секции другой половины обмоток (П10, В8, П9 и т. д.).

Обмотки выполняются в порядке, указанном в табл. 5.

Во вторичной обмотке концы секций В1, В2, В3 одной половины обмотки и В8, В7, В6 второй половины обмотки соединяются

между собой параллельно, а затем каждая такая группа соединяется последовательно.

Концы секций вторичной обмотки соединяются следующим образом: W с Y и X с Z в первой половине, W' с Y' и X' с Z' во вто-

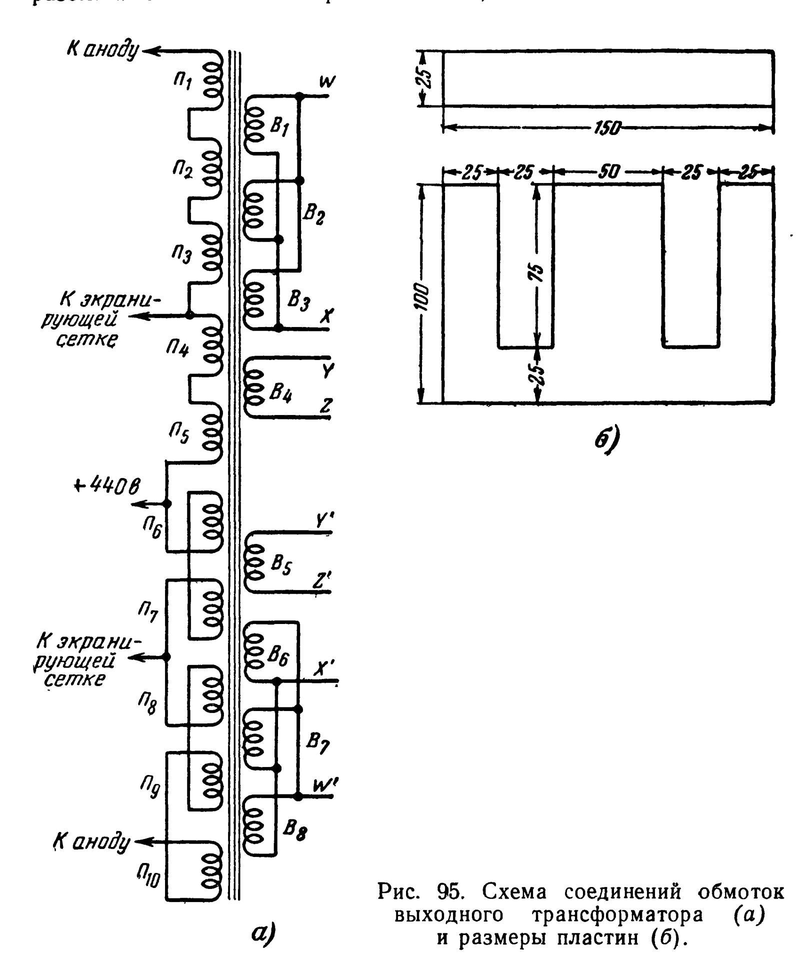


Рис. 95. Схема соединений обмоток выходного трансформатора *(а)* и размеры пластин *(б)*.

рой половине обмотки. Таким образом, эти секции оказываются включенными последовательно и громкоговоритель, имеющий сопротивление 6—8 *ом*, подключается к выводам W и W'.

Для согласования с громкоговорителем сопротивлением 12—16 *ом* секции *B4* и *B5* соединяются параллельно: Y с Y' и Z с Z'. Три группы секций (*B1*, *B2*, *B3*; *B4*, *B5* и *B6*, *B7*, *B8*) соеди-

Таблица 5

Части обмоток		Количество витков	Диаметр провода, *мм*	Количество слоев
П1	П10	380	0,28	4
В1	В8	60	1	2
П2	П9	380	0,28	4
В2	В7	60	1	2
П3	П8	380	0,28	4
В3	В6	60	1	2
П4	П7	380	0,28	4
В4	В5	60	1	2
П5	П6	380	0,28	4

няются между собой последовательно: Y и Y' с X и Z' и затем Z' с X'.

Громкоговорители подключаются к выводам W и W'.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА НА ТРАНЗИСТОРАХ МОЩНОСТЬЮ ПО 10 *вт* В КАЖДОМ КАНАЛЕ

Блок-схема установки показана на рис. 96. В состав установки входят два предварительных усилителя и источник питания для них (две последовательно соединенные батареи) напряжением по 9 *в*. Предварительные усилители рассчитаны на работу от сте-

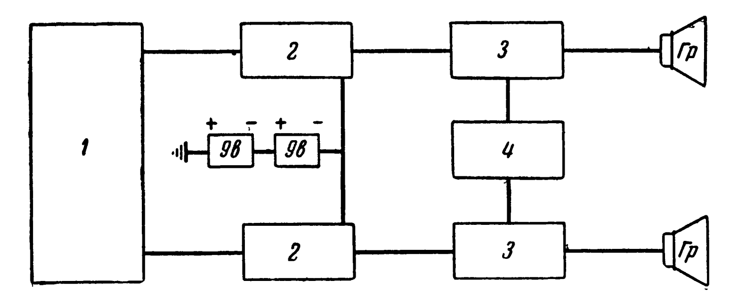


Рис. 96. Блок-схема стереофонической установки на транзисторах.

1 — стереофонический звукосниматель или магнитофон; *2* — предварительные усилители; *3* — мощные усилители; *4* — блок питания.

реофонического электромагнитного звукоснимателя или от воспроизводящей головки стереофонического магнитофона. Каждый усилитель раскачивает усилитель мощности, питаемый от сети. В результате получается установка высококачественного воспроизведения звука, дающая прекрасные результаты.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Принципиальная схема одного из двух предварительных усилителей показана на рис. 97. Усилитель собран на трех транзисторах для усиления напряжения и необходимых частотных коррекций. Он относится к типу усилителей с прямой связью, что дает хорошее воспроизведение самых низких частот.

Чувствительность усилителя около 5—6 *мв*, выходное напряжение 2 *в* при коэффициенте искажений 0,2% и 4 *в* при коэффициенте искажений 1%. Отношение сигнал/шум равно 60 *дб*.

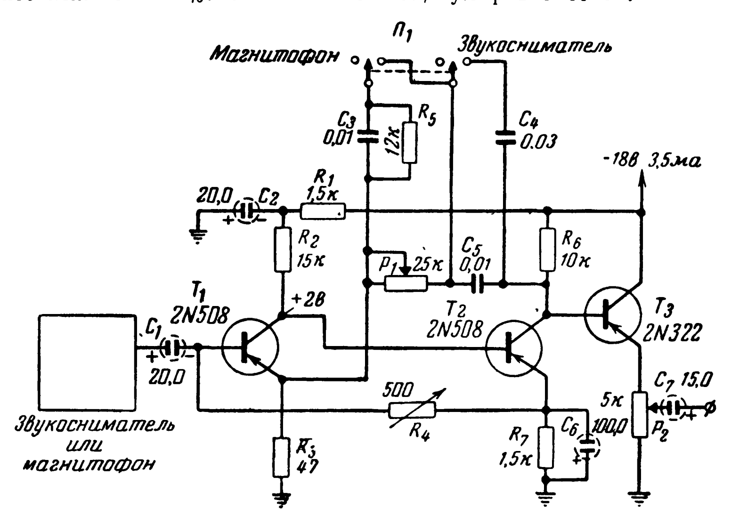


Рис. 97. Принципиальная схема предварительного усилителя.

В положении переключателя $П_1$ «Магнитофон» схема коррекции дает характеристику, соответствующую американскому стандарту (NARTB) для магнитных лент с фабричной записью на скорости 19 *см/сек*. В положении переключателя $П_1$ «Звукосниматель» получают характеристику, соответствующую стандарту Американской ассоциации граммофонной записи. Полное входное сопротивление усилителя имеет малую величину для работы с низкоомными электромагнитными звукоснимателями.

Оба первых каскада охвачены обратной связью по току, что обеспечивает температурную стабильность характеристик. Усилитель регулируют для окружающей температуры 40° С. Полупеременное сопротивление R_4 регулируют таким образом, чтобы напряжение на коллекторе транзистора T_1 было 2 *в*.

Регулировка тембра осуществляется потенциометром P_1, который связан с аналогичным потенциометром усилителя второго канала. Эта регулировка (высоких частот) осуществляется путем изменения коэффициента частотно избирательной обратной связи между транзисторами T_2 и T_1. Характеристики, получаемые в

положении «Магнитофон», показаны на рис. 98. При среднем положении движка потенциометра P_1 характеристика линейна в полосе частот от 40 до 15 000 *гц*; при минимальном сопротивлении ослабление высоких частот достигает 20 *дб* на 15 000 *гц*, а при максимальном сопротивлении повышение усиления достигает 8 *дб*, на 15 000 *гц*.

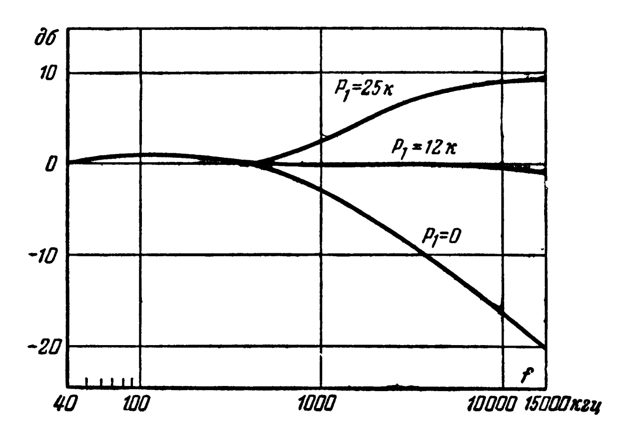


Рис. 98. Частотная характеристика предварительного усилителя и действие регулятора высоких частот.

При установке переключателя в положение «Звукосниматель» в цепь обратной связи включается фильтр R_5C_3, а величина емкости конденсатора C_5 увеличивается параллельным подключением конденсатора C_4. Это снижает общее усиление предварительного усилителя и, кроме того, дополнительно ослабляет высокие частоты Переключатели обоих предварительных усилителей связаны между собой.

В выходном каскаде усилителя сопротивление нагрузки включено в цепь эмиттера транзистора T_3. Потенциометр P_2 предназначен для регулирования усиления. Он связан с таким же потенциометром предварительного усилителя другого канала. Выход усилителя имеет низкое общее сопротивление, чтобы в случае необходимости предварительный усилитель можно было соединить с усилителем достаточно длинным кабелем. В этом случае его емкость не окажет влияния на частотную характеристику.

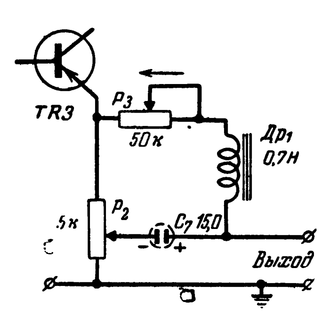


Рис. 99. Схема для дополнительного подъема низких частот в предварительном усилителе (рис. 97).

При желании регулировать низкие частоты к выходу предваритель-

ного усилителя можно подключить цепь, показанную на рис. 99. Схема регулятора состоит из потенциометра P_3 и дросселя $Др_1$, которые подымают низкие частоты, когда общее усиление, регулируемое потенциометром P_2, снижено. Потенциометр P_3 связан с таким же потенциометром предварительного усилителя другого канала.

МОЩНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Схема одного из двух усилителей изображена на рис. 100. Его особенность заключается в том, что он полностью построен без переходных конденсаторов и что в его двухтактных каскадах нет трансформаторов.

Схема усилителя была разработана в США фирмой «Дарлингтон». Благодаря стабилизации с помощью обратной связи и полному отсутствию переходных конденсаторов его частотная характеристика линейна в полосе частот 30—15 000 *гц* при максимальном отклонении ± 1 *дб*. Усилитель не имеет регулировок (громкости, тона); потенциометр P_1 служит лишь для первоначальной регулировки напряжения смещения транзистора T_1, чтобы получить на его базе половину питающего напряжения. Этим и заканчивается настройка всего усилителя.

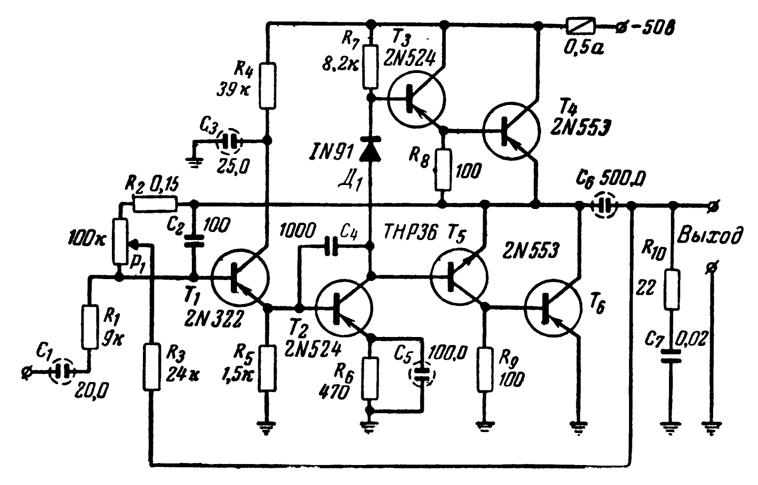


Рис. 100. Принципиальная схема мощного усилителя.

Чувствительность усилителя 1 *в* при 10 *вт* на выходе и коэффициенте искажений 1% на частоте 1 000 *гц*. Отношение сигнал/шум около 80 *дб*. Коэффициент обратной связи 15 *дб*.

Два первых каскада (на транзисторах T_1 и T_2, работающих в режиме А) дают усиление по напряжению; температурная стабилизация эмиттера T_1 осуществляется сопротивлением R_5, не зашунтированным конденсатором. Если потенциометр P_1 отрегулиро-

ван правильно, то ток эмиттера должен иметь величину от 1 до 1,5 *ма*. Ток эмиттера транзистора T_2 должен быть 2—3 *ма*. Конденсатор C_4 (обратной связи) служит для снижения усиления на слишком высоких частотах и предотвращения излишнего нагрева мощных транзисторов, граничная частота которых довольно низкая. Действительно, если пропустить на базу транзистора частоты, превышающие его граничную частоту, то температура перехода этого транзистора будет выше допустимой.

Переворачивание фазы осуществляется транзистором T_5 типа *n—p—n*, тогда как все другие транзисторы относятся к типу *p—n—p*. Таким образом получаются два плеча двухтактного каскада, работающего в режиме В (T_3, T_4 в одном плече и T_5, T_6 в другом).

Диод $Д_1$ служит для подачи смещения на транзисторы T_3 и T_5; его можно заменить сопротивлением 68 *ом*, но в этом случае температурной компенсации не будет. Можно также применить термистор, но лучшие результаты дает германиевый диод, так как изменения его характеристики в зависимости от температуры происходят по тому же закону, что и изменения характеристик транзисторов. Смещение на транзисторы T_4 и T_6 подается через сопротивления R_8 и R_9.

Полное выходное сопротивление усилителя около 0,5 *ом*. Поэтому можно без переделки пользоваться как громкоговорителями с полным сопротивлением 8 *ом*, так и громкоговорителями сопротивлением 16 *ом*. Последовательно включенный фильтр $R_{10}C_7$ выравнивает частотную характеристику и уменьшает сдвиг фазы, который мог бы нарушить стабильность работы усилителя.

Мощные транзисторы T_4 и T_6 установлены на изолированных от шасси алюминиевых радиаторах размерами примерно 7,5×7,5× ×0,3 *см*.

Напряжение питания 50 *в*. При отсутствии сигнала усилитель потребляет ток 5 *ма*, а при полной мощности (10 *вт*) — 0,4 *а*.

БЛОК ПИТАНИЯ

Принципиальная схема блока питания для обоих усилителей показана на рис. 101. Выпрямление осуществляется мостом из плоскостных кремниевых диодов. Сглаживающий фильтр состоит из одного сопротивления и двух емкостей для каждого выхода. Таким образом, каждый усилитель имеет независимое питание, что

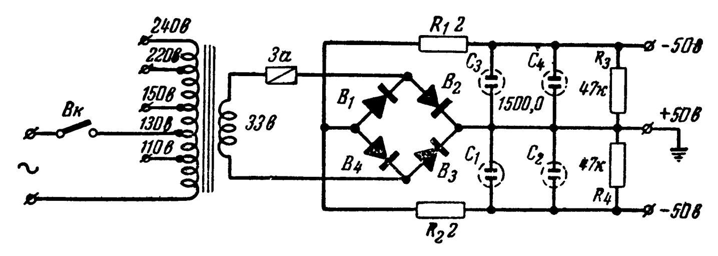


Рис. 101. Принципиальная схема блока питания.

предотвращает нежелательные связи. Выходное напряжение выпрямителя без нагрузки 50 *в*, а при максимальной нагрузке — 45 *в*.

Диоды должны устанавливаться на радиаторах.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

СХЕМЫ ОПТИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ БАЛАНСА

В некоторых случаях желательно иметь оптический индикатор, позволяющий быстрее регулировать баланс каналов стереофонической установки. Существует несколько схем таких устройств, как простых, так и сложных.

Все схемы основаны на одном принципе: на вход обоих усилителей подается переменное напряжение с одинаковой амплитудой, а на выходе усилителей с помощью регулятора баланса стремятся добиться равенства между выходными напряжениями. Чтобы не беспокоить слушателей, звуковые катушки громкоговорителей на время регулировки отключают.

Подаваемое на вход усилителей переменное напряжение можно получать от генератора НЧ (применяется в дорогих установках) или от сети питания, что значительно дешевле.

Индикатором выходных напряжений может служить электронный вольтметр (применяется в дорогих установках), или оптический индикатор настройки, или наконец, лампа накаливания, применяющаяся в наиболее простых установках. Ниже описываются индикаторы баланса только с применением оптических индикаторов настройки и лампы накаливания, так как они более доступны для самостоятельного изготовления.

БАЛАНСИРОВКА КАНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО ИНДИКАТОРА НАСТРОЙКИ ПРИ ОБЫЧНЫХ ВЫХОДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Принципиальная схема этого индикатора показана на рис. 102. Для регулировки баланса замыкают контакт *4* (включают оба канала параллельно) и подают на вход усилителей переменное напряжение от цепи накала (замыкают контакт *5*).

Так как для этой цели напряжение накала ламп слишком велико (6,3 *в*), включают параллельно обмотке накала делитель напряжения из сопротивлений R_2 и R_3. Их величина зависит от требуемого напряжения, подаваемого на вход усилителей. Сумма сопротивлений R_2 и R_3 должна быть достаточной для того, чтобы проходящий по ним ток имел малую величину. При необходимости, например, получить на входе 0,8 *в* величина сопротивления R_2 должна быть 630 *ом*, а сопротивления R_3—100 *ом*.

С анода оконечной лампы каждого канала с помощью конденсатора 0,02 *мкф* снимают небольшую часть усиленного переменного напряжения. Через делители напряжения, состоящие из сопротивлений 18 *ком* и 0,1 и 2,7 *Мом*, это напряжение подается на сетку триодов лампы 12AX7. Потенциометры сопротивлением 0,1 *Мом* позволяют так отрегулировать напряжения на каждой

из сеток лампы, чтобы оптический индикатор 6AF6 был в состоянии равновесия. Аноды лампы 12AX7 соединены с отклоняющими анодами оптического индикатора. Когда баланс каналов хорошо

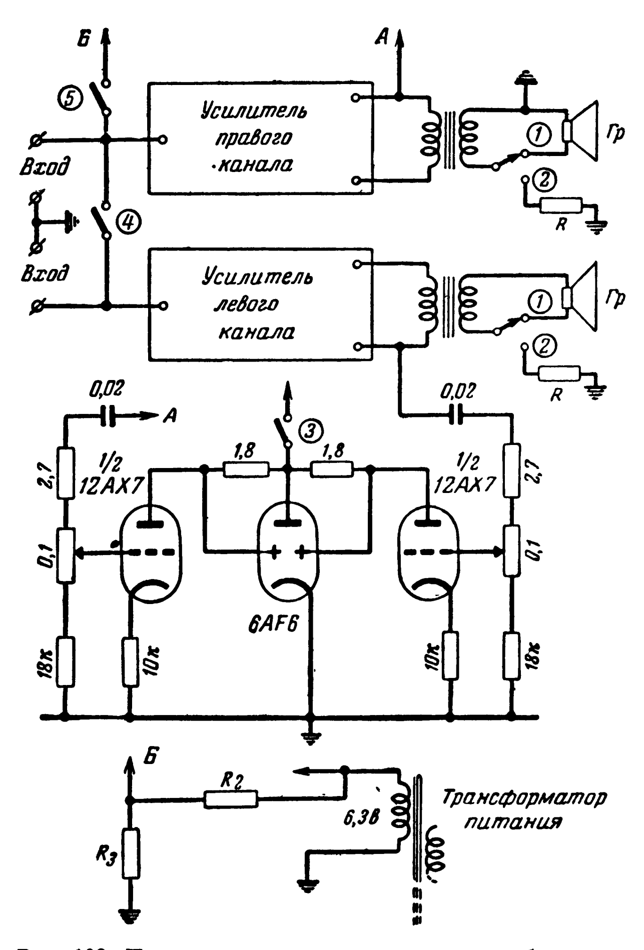


Рис. 102. Принципиальная схема индикатора баланса с оптическим индикатором настройки при обычных выходных трансформаторах.

отрегулирован, напряжения на отклоняющих анодах индикатора одинаковы и светящиеся секторы имеют одинаковую площадь Эта индикаторная лампа имеет два отклоняющих анода, каждый из которых соответствует своему светящемуся сектору.

На время регулировки громкоговорители отключают, и выходные трансформаторы нагружают на сопротивления *R*, величины которых должны быть равны полным сопротивлениям звуковых катушек громкоговорителей.

БАЛАНСИРОВКА КАНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО ИНДИКАТОРА НАСТРОЙКИ ПРИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВЫХОДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Принципиальная схема индикатора баланса этого типа показана на рис. 103. В этом случае напряжение для регулировки берется не с обмотки накала, а с вывода первого конденсатора фильтра выпрямителя. В этой точке имеется значительное

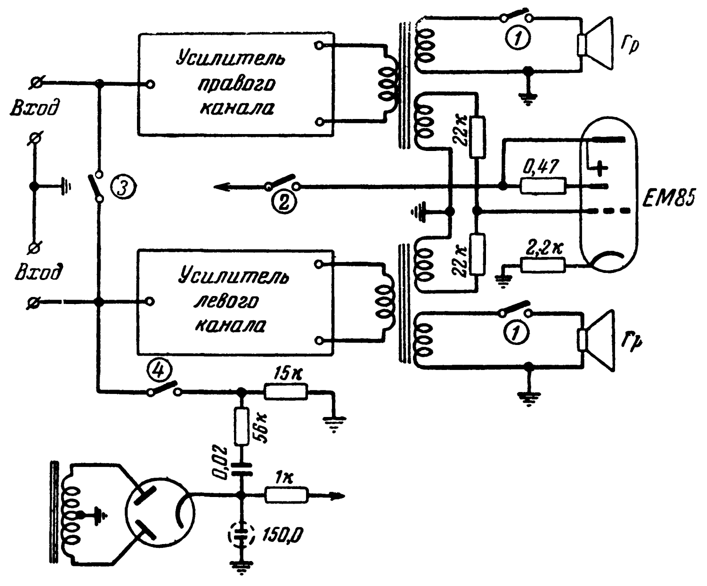


Рис. 103. Принципиальная схема индикатора баланса с оптическим индикатором настройки при специальных выходных трансформаторах.

постоянное напряжение с частотой пульсаций 100 *гц* (от выпрямления обоих полупериодов), что несколько предпочтительнее, так как с приближением к средним частотам показатели усилителей улучшаются. Конденсатор 0,02 *мкф* не пропускает постоянного напряжения, а делитель из сопротивлений сохраняет необходимую величину напряжения фона (около 0,15 *в*). Если чувствительность усилителей отличается от этой величины, то для получения необходимого напряжения достаточно изменить величину обоих сопротивлений.

Выходные трансформаторы имеют дополнительные обмотки, величины полных сопротивлений этих обмоток не имеют большого значения; важно только, чтобы обе обмотки были одинаковы. Обычно их сопротивления должны быть примерно равны сопротивлениям звуковых катушек громкоговорителей (8—15 *ом*).

Эти обмотки включаются в противофазе между шасси и сеткой оптического индикатора ЕМ85. Когда усилители сбалансированы, напряжения имеют одинаковую величину и взаимно уничтожаются. В этом случае освещенная поверхность оптического индикатора переходит к очень четкому минимуму. Для получения хорошей точности балансировки необходимо оперировать с достаточно высоким уровнем, т. е. регулятор усиления должен ставиться в положение, соответствующее максимуму.

Для усилителей малой мощности (до 4 *вт*) нет необходимости предусматривать сопротивления нагрузки вместо отключаемых громкоговорителей. Для больших мощностей следует добавить, как и в предыдущей схеме, переключаемые сопротивления нагрузки.

В положении переключателя «Прослушивание» контакты *2*, *3* и *4* разомкнуты, а контакты *1* замкнуты.

В положении переключателя «Регулировка» контакты *1* разомкнуты, а контакты *2*, *3* и *4* замкнуты.

БАЛАНСИРОВКА КАНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Для создания этого чрезвычайно простого устройства требуется лишь переключатель на три платы, сигнальная лампа и два сопротивления. Устройство запатентовано французской фирмой «Томсон-Хустон». Его принципиальная схема приведена на рис. 104.

Переменное напряжение (фон) на входах усилителей получают путем отключения от шасси общего для обоих каналов провода. Известно, что обрыв заземляющего провода корпуса микрофона или звукоснимателя вызывает в схеме значительный фон, порождаемый паразитной наводкой. На выходах усилителей переключатель отключает громкоговорители. Остаются только два сопротивления, величины которых значительно больше общего сопротивления звуковых катушек. Падение напряжений на этих сопротивлениях соответствует мощности, отдаваемой каждым каналом. Разница между этими напряжениями, когда каналы не сбалансированы, вызывает свечение сигнальной лампы *ЛС*.

Регулируя баланс каналов потенциометрами P_1 и P_2, добиваются равенства выходных напряжений по погасанию сигнальной лампы.

Для достижения наиболее полной регулировки баланса целесообразно учитывать и влияние стереофонического звукоснимателя. Для такой регулировки нужно проигрывать монофоническую грампластинку. Тогда сигналы, поступающие от двух элементов стереофонического звукоснимателя, будут накладываться на напряжение фона. При этом погасание сигнальной лампы будет свидетельствовать об установлении полного равновесия между каналами, включая и элементы звукоснимателя.

Переключатель размыкает контакты в положении «Регулировка» и замыкает их в положении «Прослушивание».

Сигнальная лампа должна быть выбрана такая, чтобы в момент наибольшей расстройки усилителей каналов она не перегружалась (чтобы не перегорела ее нить), но четко отмечала моменты баланса (погасала).

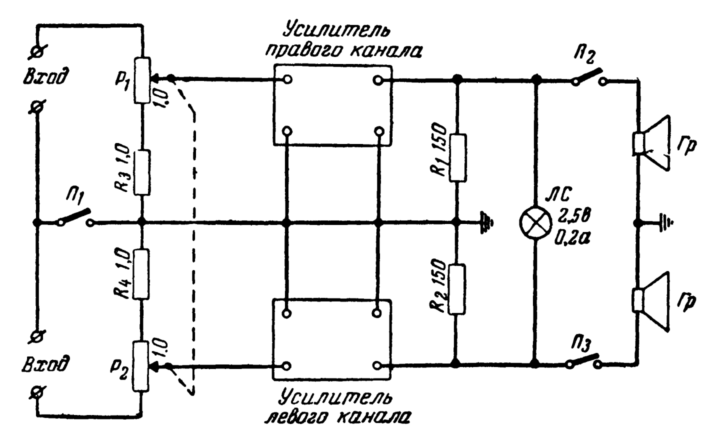


Рис. 104. Принципиальная схема индикатора баланса с лампой накаливания.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

ПЕРЕДЕЛКА МОНОФОНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Переделка монофонических установок в стереофонические интересует всех владельцев обычной аппаратуры, желающих использовать преимущества новой техники.

Теория стереофонии и основные схемы, изложенные в предыдущих главах книги, должны помочь читателю в выборе наилучшего решения его частной проблемы.

Прежде всего следует разделить имеющуюся аппаратуру на работающую от звукоснимателя и от магнитофона.

Все радиограммофоны, радиолы и установки высококачественного воспроизведения звука имеют проигрыватели, но решения об их переделке должны избираться разные в зависимости от того, будет ли переделываться небольшой чемоданный радиограммофон, радиола или очень дорогая установка. Кроме того, можно иметь высококачественную установку, но не располагать в данный момент значительной суммой для ее переделки в стереофоническую. Следовательно, нужно предусмотреть и этот случай.

Все советы, данные для изготовления стереофонической аппаратуры, остаются в силе и для переделки монофонической аппаратуры в стереофоническую. Поэтому читателю, заинтересованному только в этой последней главе, необходимо прочитать всю книгу.

ПЕРЕДЕЛКА РАДИОГРАММОФОНОВ, РАДИОЛ И УСТАНОВОК ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗВУКА

Блок-схема простой монофонической установки, состоящей из проигрывателя, усилителя и громкоговорителя, показана на рис. 105,*а*. На рис. 105,*б* показана установка высококачественного воспроизведения звука со своим проигрывателем, предварительным усилителем, усилителем мощности и акустической системой, в которой имеется один или несколько громкоговорителей.

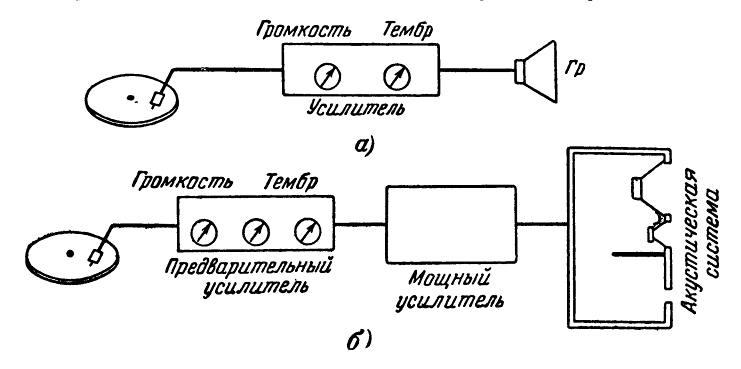


Рис. 105. Блок-схемы монофонических установок.

а — радиограммофон или простая радиола; *б* — консоль высококачественного воспроизведения звука

Для переделки этих установок нужно обязательно сменить звукосниматель, приобрести или изготовить второй канал усиления и установить второй громкоговоритель или акустическую систему.

ЗАМЕНА ЗВУКОСНИМАТЕЛЯ

Перед заменой монофонического звукоснимателя стереофоническим следует выяснить, возможно ли ограничиться заменой одной головки или необходимо заменить звукосниматель полностью вместе с тонармом.

Головка стереофонического звукоснимателя обычно имеет три вывода, так как провод «корпус» для обоих каналов общий. Однако имеются головки и с четырьмя выводами. В обоих случаях не следует пользоваться экранированным кабелем с двумя проводниками, так как емкость между ними будет способствовать прониканию между каналами.

Так как в стереофоническом проигрывателе давление иглы на пластинку меньше, чем в обычном, то после замены головки необходимо измерить давление иглы на грампластинку и соответственно изменить регулировку компенсационных пружин. Оптимальное давление в зависимости от конструкции звукоснимателя должно быть в пределах от 2 до 7 *г*.

ПЕРЕДЕЛКА ПРОСТОЙ УСТАНОВКИ

Задача заключается в том, чтобы при небольших затратах модернизировать установку, соответствующую схеме, изображенной на рис. 105,*а*. Она может быть чемоданным радиограммофоном или настольной радиолой. После переделки нужно получить блок-

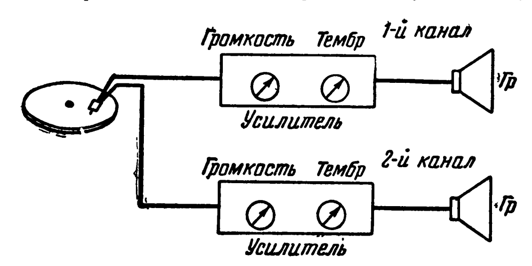


Рис. 106. Переделка простой установки (переделке подвергалась установка, блок-схема которой приведена на рис. 105,*а*).

схему, показанную на рис. 106. В установке оставляют имеющиеся усилитель и громкоговоритель. Заменяют только головку звукоснимателя и добавляют второй канал усиления с громкоговорителем.

Старый усилитель остается без изменений, за исключением согласования его с новым звукоснимателем.

Усилитель второго канала должен иметь свои регуляторы громкости и тембра. Так как в этом случае не может быть речи об объединении этих регуляторов, следовательно, регулятор баланса не нужен. В этом заключается некоторое неудобство такой переделки, так как для каждого канала нужно раздельно регулировать как громкость, так и частотную характеристику. Однако при этом можно компенсировать различия в схемах усилителей и в акустической отдаче громкоговорителей.

Для описываемой переделки может подойти любой усилитель при условии, что он имеет примерно такую же мощность, что и первый усилитель. В качестве примера ниже приведено описание стереофонической приставки фирмы «Дюкрете-Томсон».

Принципиальная схема. Принципиальная схема приставки (рис. 107) исключительно проста и хорошо отработана. Дополнительный усилитель смонтирован в небольшом ящике и снабжен эллиптическим громкоговорителем размерами 21×32 *см*. Усилитель может также монтироваться в чемодане, оформленном как радиограммофон, для модернизации которого он предназначен.

Второй вывод головки стереофонического звукоснимателя соединен непосредственно со входом усилителя. После усиления по напряжению первым триодом лампы 12AX7 сигнал поступает на схему коррекции тембра (второй триод лампы 12AX7), повышающую или ослабляющую усиление как низких, так и высоких частот (потенциометры P_1 и P_2).

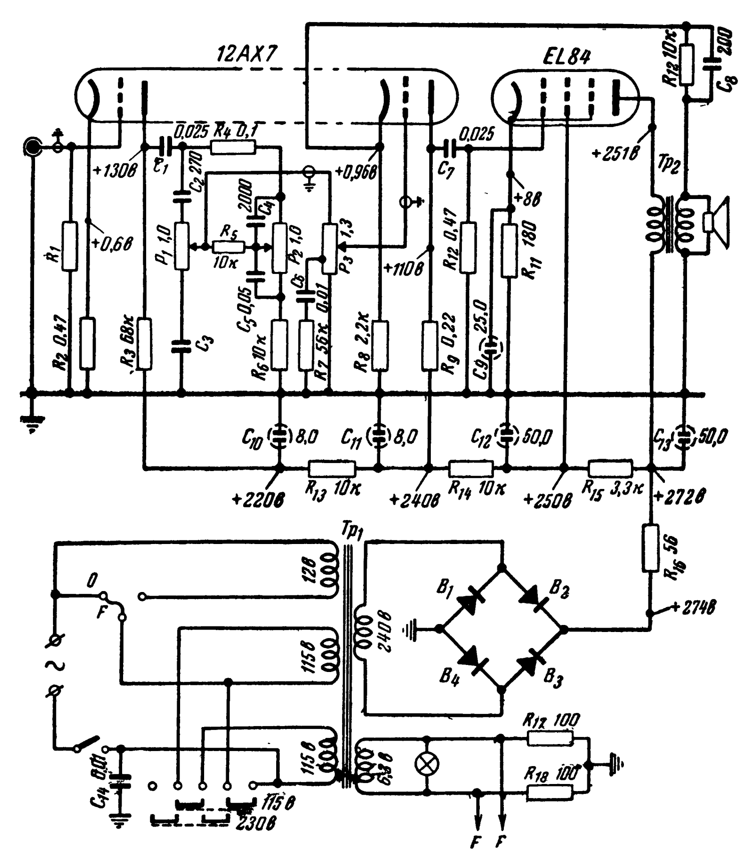


Рис. 107. Принципиальная схема стереофонической приставки фирмы «Дюкрете-Томсон».

Регулировка громкости осуществляется потенциометром P_3 с дополнительным выводом, соединенным с цепочкой R_7C_6 для тонкомпенсации, поднимая уровень низких частот на малых мощностях.

Усиление по мощности осуществляется пентодом EL84. Цепь обратной связи глубиной 18 *дб* включена между вторичной об-

моткой выходного трансформатора и катодом второго триода лампы 12AX7.

Чувствительность усилителя 350 *мв* для номинальной мощности 3 *вт*; полное входное сопротивление 1 *Мом*.

На рис. 108 показаны частотные характеристики усилителя, из которых видно, что имеется возможность регулировать низкие и высокие частоты в пределах от +12 до — 14 *дб*. Общая полоса пропускания усилителя охватывает частоты от 20 *гц* до 70 *кгц*.

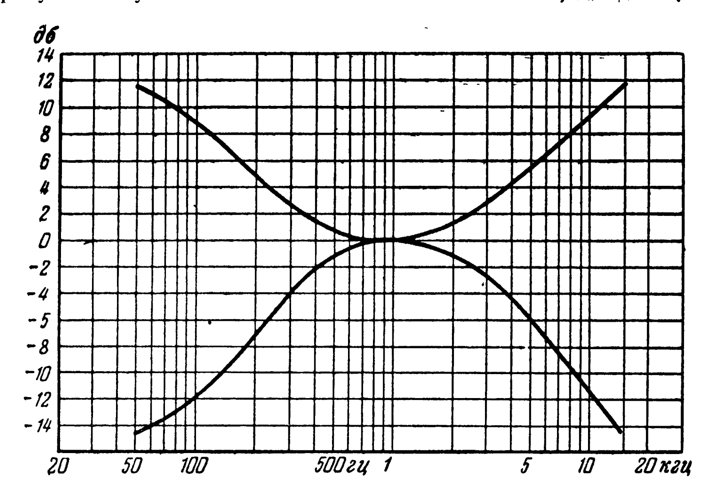


Рис. 108. Частотные характеристики усилителя.

ПЕРЕДЕЛКА УСТАНОВКИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗВУКА

Подлежащая переделке установка соответствует блок-схеме, показанной на рис. 105,*б*. Она состоит из проигрывателя, предварительного усилителя с элементами регулировок, усилителя мощности, акустической системы и консоли. В результате модернизации нужно получить блок-схему, изображенную на рис. 109.

Для этого следует: заменить звукосниматель; внести серьезные изменения в предварительный усилитель или приобрести вместо него стереофонический предварительный усилитель с элементами коррекции; сохранить для использования в первом канале имеющийся усилитель мощности и его акустическую систему; изготовить или приобрести второй усилитель и вторую акустическую систему с характеристиками, близкими к характеристикам аппаратуры первого канала.

Эта переделка обходится дорого, но она позволяет получить прекрасные результаты. В качестве примера можно указать, что для этого случая хорошо подошел бы стереофонический предвари-

тельный усилитель, описанный в гл. 9 «Стереофонический высококачественный предварительный усилитель».

В качестве усилителя мощности второго канала может подойти любая схема, если она сходна с усилителем, первоначально имевшимся в установке.

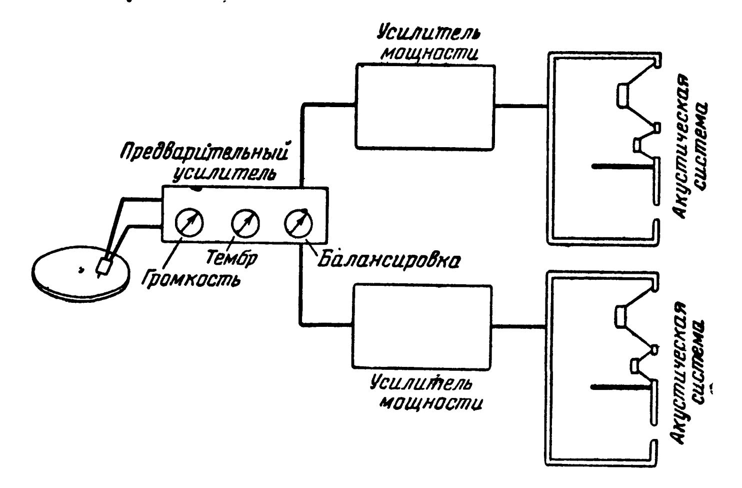


Рис. 109. Блок-схема переделки установки высококачественного воспроизведения звука.

ЭКОНОМИЧНАЯ ПЕРЕДЕЛКА УСТАНОВКИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗВУКА

Владелец установки высококачественного воспроизведения звука (рис. 105,*б*) может и не затрачивать большие средства, чтобы усовершенствовать свою аппаратуру.

Конечно, для усовершенствования установки высококачественного воспроизведения звука нельзя рекомендовать установить второй усилитель в чемодане, разместив в нем же небольшой громкоговоритель.

Тем не менее существуют схемы, реализация которых обходится ненамного дороже, но дающие хорошие результаты. Известно, что стереофонический эффект создается в основном средними и высокими частотами (см. гл. 7) и что возможно смешивать низкие частоты двух каналов. Усиление же и воспроизведение высоких частот несложны и обходятся недорого. Поэтому одного каскада усиления мощности в режиме А и громкоговорителя диаметром 17 или 21 *см* достаточно, чтобы получить хорошую отдачу на частотах выше 250—400 *гц*. Следовательно, можно сделать стереофоническую установку по блок-схеме, показанной на рис. 110.

Стереофонический звукосниматель соединен со специальным предварительным усилителем, имеющим три выхода и регуляторы громкости, тембра и баланса. Кроме того, он осуществляет сме-

шение низких частот обоих каналов. Его три выхода соответствуют высоким частотам левого и правого каналов и смеси низких частот обоих каналов.

Предварительный усилитель соединен с тремя усилителями. Два из них просты по своему устройству, так как они усиливают только сигналы левого и правого каналов. В качестве третьего усилителя используется имевшийся в монофонической установке мощный усилитель, питающий акустическую систему (рис. 105,*б*).

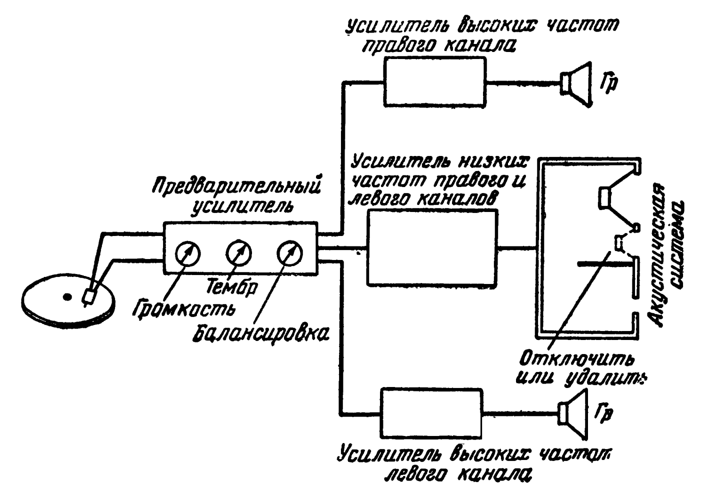


Рис. 110. Блок-схема экономичной переделки установки высококачественного воспроизведения звука.

Этот высококачественный усилитель очень хорошо усиливает низкие частоты обоих каналов, хорошо воспроизводящиеся имеющейся акустической системой. Если в этой системе имеется дополнительный громкоговоритель для высоких частот, то его следует отключить. Иногда его можно даже извлечь из акустической системы и использовать в качестве громкоговорителя для высоких частот в правом или левом канале, что еще снизит расходы на переделку.

Для этого необходимо, чтобы его диаметр был достаточен для хорошего воспроизведения средних частот. В этом случае не следует брать громкоговоритель диаметром менее 13 *см*. На рис. 111 показано расположение громкоговорителей в комнате. Акустическую систему, воспроизводящую низкие частоты обоих каналов, нужно поставить по середине малой стены комнаты, а два маленьких громкоговорителя для высоких частот разместить по обе стороны от акустической системы. Расстояние между ними зависит от размеров комнаты; расстояния в 2 *м* достаточно, если слушатель может занять место на средней линии на расстоянии 2,5—3 *м* от громкоговорителей. Акустическая отдача такой системы очень хорошая.

В качестве примера на рис. 112 показана схема для подобной переделки, разработанная фирмой «Телефункен» и опубликованная в журнале «Функшау». Эта схема объединяет в себе специальный предварительный усилитель и два усилителя для высоких частот. В нем использованы три лампы и селеновый выпрямитель.

Принципиальная схема. Оба вывода от стереофонического звукоснимателя соединены с потенциометром регулятора баланса. Оба последовательно соединенных сопротивления R_1 по 0,22 *Мом*

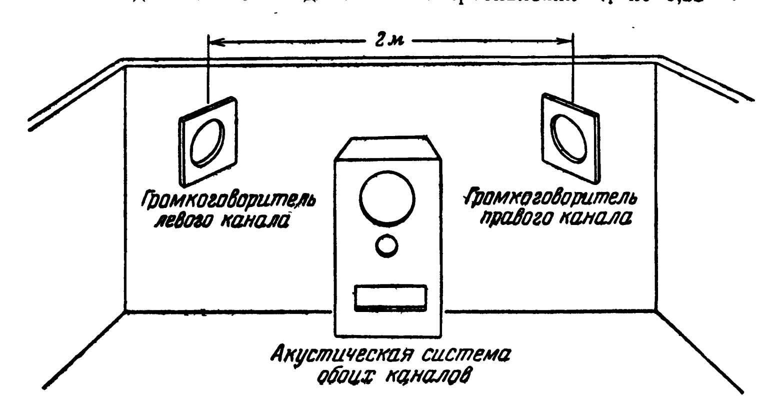


Рис. 111. Размещение в комнате громкоговорителей установки, схематически изображенной на рис. 110.

могут быть заменены сопротивлениями другой величины в зависимости от того, какую чувствительность входа желают получить, или вообще сняты. Конденсатор C_2 улучшает воспроизведение высоких частот. Усиление по напряжению в каждом канале осуществляется триодной частью лампы ECL82. В анодной цепи лампы этого каскада имеются составляющие всего звукового спектра (высокие и низкие частоты). Высокие частоты каждого канала через конденсатор C_{12} (150 *пф*) поступают на каскад усиления мощности, а низкие частоты от обоих каналов через сопротивления R_9 поступают на сетку лампы EC92. Цепь $C_6R_{10}C_3$ представляет собой фильтр, пропускающий низкие частоты. В описываемой установке триод EC92 усиливает лишь частоты ниже 400 *гц*.

Конденсаторы C_{10} и C_{11} и переключатель $П_1$ образуют регулятор тембра для обоих каналов высоких частот. Величины емкостей этих конденсаторов подбирают в зависимости от желаемой частотной характеристики установки. При разомкнутом переключателе передается весь спектр частот. Включение конденсатора C_{10} (100 *пф*) должно давать некоторое ослабление высоких частот, а конденсатора C_{11} (500 *пф*) — более резко выраженное. Переключатели тембра обоих каналов связаны между собой.

Переключатель $П_2$ включает в каждом из каналов конденсатор C_{13} параллельно конденсатору C_{12}. Таким образом, можно передать на усилители мощности обоих каналов весь звуковой

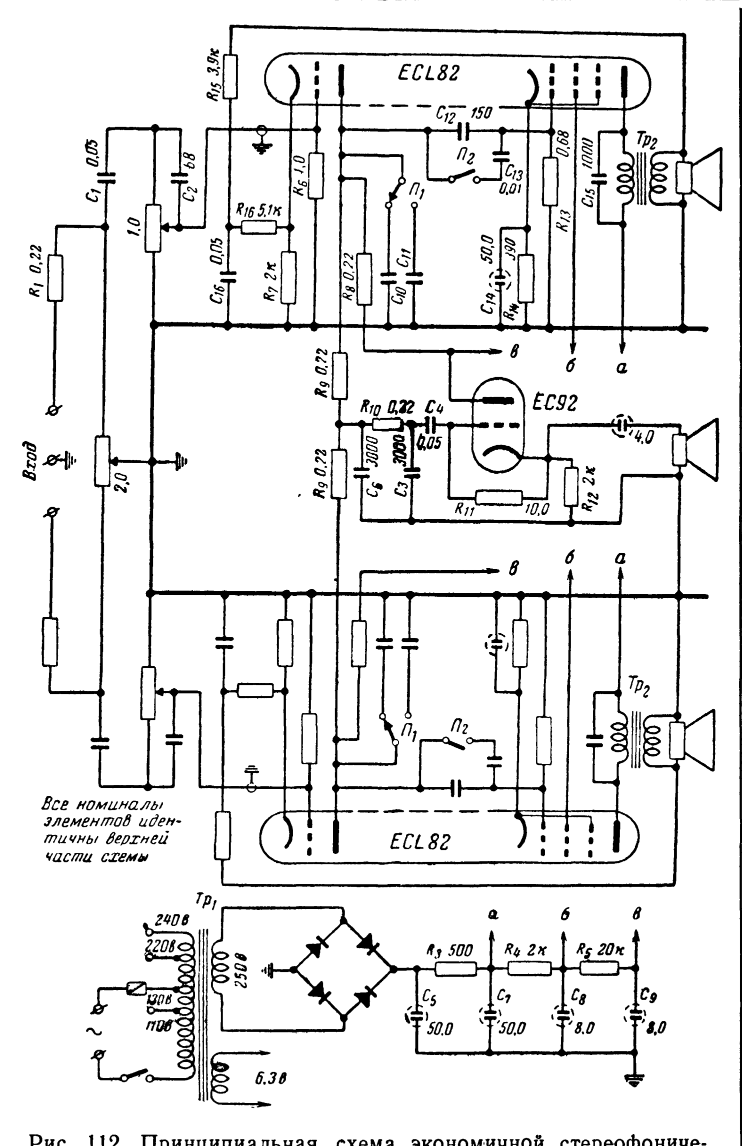


Рис. 112. Принципиальная схема экономичной стереофонической приставки фирмы «Телефункен» для установки высококачественного воспроизведения звука.

спектр. В этом случае стереофоническая приставка может работать без основного усилителя мощности, имевшегося в монофонической установке. В результате этого можно получить малогабаритную переносную стереофоническую установку. Усиление мощности в каналах высоких частот осуществляется пентодной частью лампы ECL82.

Отрицательная обратная связь взята с вторичной обмотки выходного трансформатора на катод триода, служащего для усиления напряжения. Величины сопротивлений R_{15} и R_{16} рассчитаны для полного сопротивления звуковой катушки 5 *ом*; в случае использования громкоговорителя с сопротивлением звуковой катушки 2,5 *ом* следует уменьшить величину этих сопротивлений примерно на одну треть.

Выходная мощность каждого канала высоких частот 2 *вт*. Основные характеристики установки приближаются к характеристикам, приведенным на рис. 71 и 72.

Низкие частоты обоих каналов усиливаются в каскаде на лампе EC92 и снимаются с катодной нагрузки. Напряжение при малом общем выходном сопротивлении составляет примерно 1 *в*. Таким образом, длина соединительного кабеля не критична.

Чувствительность усилителя 200 *мв* на канал.

ПЕРЕДЕЛКА МАГНИТОФОНОВ

На рис. 113,*а* показана блок-схема монофонического магнитофона, состоящего из усилителя и высокочастотного генератора смещения.

В зависимости от потребностей и возможностей можно предусмотреть полную или экономичную переделку такого магнитофона.

На рис. 113,*б* показана блок-схема полной переделки, которая позволяет как воспроизводить, так и вести стереофоническую запись.

Для этого нужно: заменить универсальную головку стереофонической; сделать двойной предварительный усилитель с необходимыми органами управления; приобрести второй микрофон, подобный первому, или лучше подобрать специальный стереофонический микрофон; переделать усилитель, отключив от него предварительный усилитель и оставив усилитель мощности и генератор смещения, который должен иметь достаточную мощность, чтобы при записи питать двойную головку; сделать усилитель мощности для второго канала, который имел бы примерно такие же характеристики, что и усилитель первого канала. Громкоговоритель второго канала также должен быть почти одинаковым с имеющимся.

Экономичная переделка более проста. Но она позволяет воспроизводить только готовые стереофонические записи. Записывающая часть магнитофона остается монофонической. Такая модернизация соответствует блок-схеме, изображенной на рис. 113,*в*.

Она заключается в следующем: замене универсальной головки стереофонической; изготовлении для второго канала предварительного усилителя и усилителя мощности, рассчитанных только на воспроизведение.

Как видно, такая модернизация значительно проще и дешевле.

Часто в качестве усилителя второго канала можно использовать радиограммофон или усилитель НЧ-радиоприемника. В этом случае остается лишь обзавестись стереофонической головкой и соответствующим предварительным усилителем. Такая модернизация получила наибольшее распространение.

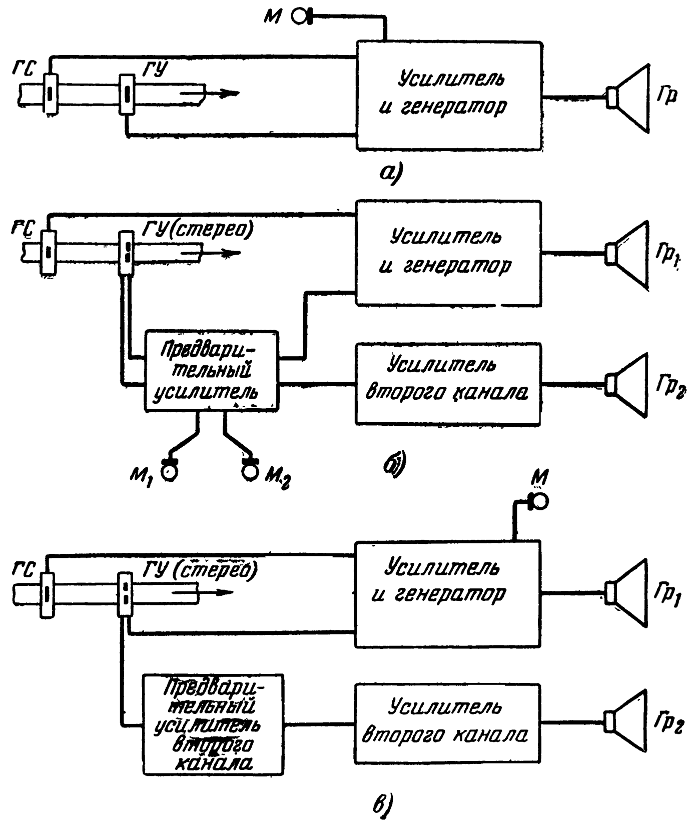


Рис. 113. Блок-схемы переделки магнитофонов.

а — монофонический магнитофон; *б* — полный стереофонический магнитофон (запись — воспроизведение); *в* — магнитофон только для воспроизведения стереофонических записей и для монофонической записи.

ЗАМЕНА МАГНИТОФОННОЙ ГОЛОВКИ

При замене магнитофонной головки необходимо соблюдать следующие предосторожности: головку следует укрепить жестко, чтобы ее щели были строго параллельны плоскости магнитной лен-

ты; щели нужно точно выровнять, чтобы одинаковые сигналы наводили в обеих обмотках головки одинаковые токи (если не выполнить этого требования, то баланс между каналами окажется нарушенным, что пагубно отразится на качестве стереофонического воспроизведения). Плохое выравнивание может возникнуть в результате неправильной установки головки или направляющих роликов. Направление движения ленты перед головкой должно быть строго перпендикулярно обеим щелям. Если угол направления движения ленты не будет точно равен 90°, то от этого пострадает воспроизведение высоких частот, а следовательно, и стереофонический эффект Для проверки правильности регулировки нужно пропустить через магнитофон ленту с записанными на ней с одинаковым уровнем высокими частотами.

Головку ориентируют так, чтобы получить наиболее высокое и одинаковое (в обеих обмотках) выходное напряжение. Затем следует отрегулировать напряжение высокочастотного подмагничивания до необходимого для данной магнитной ленты уровня. Каждый тип магнитной головки требует строго определенного напряжения смещения. Поэтому возможно, что при установке стереофонической головки потребуется некоторая регулировка. Попутно можно проверить, имеет ли сигнал правильную синусоидальную форму без явно видимых искажений. Эта регулировка осуществляется путем изменения величины сопротивления, включенного последовательно между высокочастотным генератором и каждой из обмоток головки.

И наконец, нужно также отрегулировать необходимый уровень записи. Для этого вынимают лампу высокочастотного генератора и на вход включают НЧ-генератор, настроенный на 1 000 *гц*. Регулятор громкости усилителей магнитофона устанавливают так, чтобы теневой сектор оптического индикатора уровня закрылся. Затем к зажимам обеих обмоток головки подключают электронный вольтметр и изменяют величину сопротивлений, включенных последовательно между анодами ламп усилителя НЧ каждого канала и соответствующей обмоткой головки, до тех пор, пока не получат необходимый уровень.

Экранирование головки должно выполняться очень тщательно, чтобы избежать наводки фона. Заземление экрана находится опытным путем по минимуму фона. С возникновением фона приходится серьезно бороться во всех элементах магнитофона вследствие низкого выходного напряжения магнитной головки (как стереофонической, так и обычной). Выходное напряжение головки имеет величину порядка милливольта и редко достигает 5 *мв*.

УСИЛИТЕЛЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Совершенно особое внимание следует уделить соединению стереофонической магнитной головкой со входом предварительного усилителя (или предварительных усилителей). Это соединение должно быть как можно короче и выполняться малоемкостным экранированным кабелем. Первостепенное значение имеет также выбор мест присоединения экранов и заземления. Высокоомные головки (около 500 *ом*) обычно легче соединять с предварительным усилителем вследствие меньших наводок.

чувствительность усилителя должна быть порядка милливольта. Величина выходного напряжения предварительного усилителя должна позволять подключение оконечных усилителей и быть порядка 0,3—0,4 *в*, что при наличии всех коррекций записи требует большого общего усиления. Обычно применяются два каскада усиления.

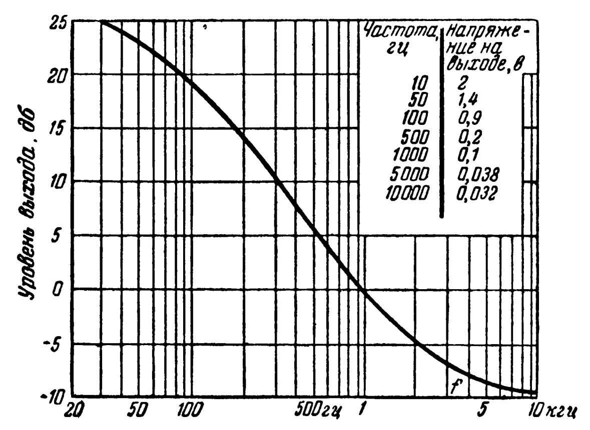


Рис. 114. Частотная характеристика воспроизведения магнитной записи (американский стандарт).

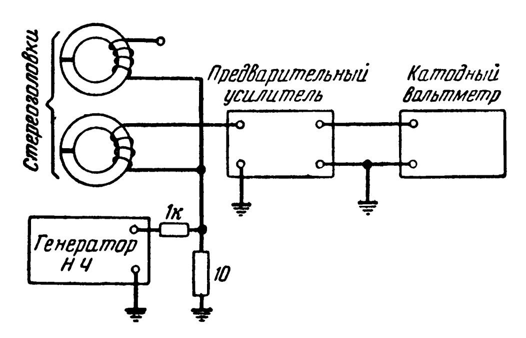


Рис. 115. Блок-схема для снятия частотной характеристики коррекции предварительного усилителя.

Нити накала получают питание по двум скрученным проводам, а цепи высокого напряжения должны иметь хорошую развязку, чтобы избежать паразитных наводок.

Элементы коррекции частотной характеристики усилителей каналов должны соответствовать кривой, приведенной на рис. 114, что можно проверить с помощью схемы, изображенной на рис. 115.

Регулятор громкости предварительного усилителя (если такой имеется) устанавливают в среднее положение; генератор НЧ настраивают на частоту 1 000 *гц* и устанавливают напряжение, достаточное для получения на выходе электронного вольтметра 0,1 *в* эффективного напряжения. Затем, не изменяя напряжения, генератор НЧ настраивают на каждую из указанных на рис. 114 частот. Катодный вольтметр должен показывать на выходе соответствующие напряжения. Если в результате таких измерений будут получены иные значения, то следует внести необходимые изменения в схему коррекции предварительного усилителя.

ПРИМЕРЫ ПЕРЕДЕЛКИ МАГНИТОФОНОВ

Полная переделка. Для полной переделки аппаратуры по блок-схеме, показанной на рис. 113,*б*, используется только специальный предварительный усилитель. Для этой цели подойдут стереофонический высококачественный предварительный усилитель

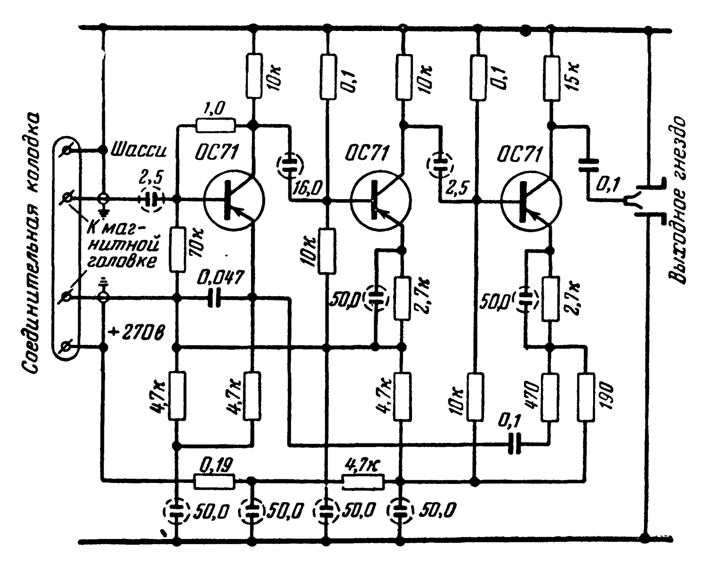


Рис. 116. Принципиальная схема предварительного усилителя на транзисторах для магнитофона.

на лампах (рис. 87) и предварительный усилитель на транзисторах (рис. 97).

Эти предварительные усилители имеют входы для магнитофона, и их коррекции соответствуют международному стандарту на магнитную запись. Однако они не имеют переключателя для перехода с воспроизведения на запись.

Экономичная переделка. В этом случае (рис. 113, *в*) только предварительный усилитель имеет некоторые особенности и требует более подробного описания.

Для этой цели следует предпочесть предварительный усилитель на транзисторах, так как он может быть сделан очень малого размера, что позволит поместить его в непосредственной близости от магнитной головки.

Кроме того, полное входное сопротивление усилительного каскада на транзисторах очень близко к полному сопротивлению высокоомных магнитных головок (500 *ом*), поэтому легко осуществить их согласование. Емкость соединительного кабеля значительно ниже, что способствует снижению уровня фона. Например, распределенная емкость 20 *пф* при магнитной головке 500 *ом*, подключенной ко входу лампового предварительного усилителя, вносит потери в 3 *дб* на частоте 8 000 *гц*. При включении этой же магнитной головки на транзисторный предварительный усилитель с полным входным сопротивлением 500 *ом* такое же ослабление будет лишь на частоте 16 *Мгц*.

Принципиальная схема предварительного усилителя приведена на рис. 116. Он состоит из трех каскадов усиления на транзисторах ОС71. Чувствительность усилителя 2 *мв*. Выходное напряжение 300 *мв*. Отношение сигнал/шум равно 55 *дб*. Особенность усилителя заключается в том, что питание на него поступает от высокого напряжения оконечного усилителя, что устраняет необходимость в батареях. Высокое напряжение (+270 *в*) подается по экранирующей оплетке кабеля, соединяющего блок головок с предварительным усилителем. Эта оплетка должна иметь защитную пластмассовую изоляцию. Заземление предварительного усилителя — общее с заземлением оконечного усилителя. Сглаживающий фильтр сделан очень тщательно. В усилителе нет регулировок громкости и тембра; они регулируются в усилителе второго канала. Коррекция записи фиксированная.

Цена 42 коп.